

**Caracterização de bacias hidrográficas utilizadas na  
geração de energia elétrica em Santa Catarina**

Thiago Marcis Silva





**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**CARACTERIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS  
UTILIZADAS NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM  
SANTA CATARINA.**

**Thiago Marcis Silva**

**FLORIANÓPOLIS  
2015**



Thiago Marcis Silva

**CARACTERIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS  
UTILIZADAS NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM  
SANTA CATARINA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido à banca examinadora da  
Universidade Federal de Santa Catarina  
para conclusão do Curso de Graduação  
em Engenharia Sanitária e Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Pedro Luiz Borges  
Chaffe

FLORIANÓPOLIS  
2015

Silva, Thiago Marcis  
Caracterização de Bacias  
Hidrográficas Utilizadas na Geração  
de Energia Elétrica em Santa  
Catarina / Thiago Marcis Silva ;  
orientador, Pedro Luiz Borges  
Chaffe - Florianópolis, SC, 2015.  
89 p.

Trabalho de Conclusão de Curso  
(graduação) - Universidade Federal de  
Santa Catarina, Centro Tecnológico.  
Graduação em Engenharia Sanitária e  
Ambiental.

Inclui referências


1. Engenharia Sanitária e Ambiental.
2. Hidrologia.
3. Recursos Hídricos.
4. Gestão Ambiental. I. Borges Chaffe, Pedro Luiz. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
SANITÁRIA E AMBIENTAL**


**CARACTERIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS  
UTILIZADAS NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM  
SANTA CATARINA.**

**THIAGO MARCIS SILVA**

Trabalho submetido à banca examinadora como  
parte dos requisitos para Conclusão do Curso de  
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Pedro Luiz Borges Chaffe  
**Orientador**

**Banca examinadora:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof.ª Dr.ª Nádia Bernardi Bonumá  
**Membro da Banca**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Roberto Fabris Goerl  
**Membro da Banca**

**FLORIANÓPOLIS  
2015**





Dedico este trabalho à minha falecida avó, Tecla Czornei Marscis, por ter sido grande entusiasta da minha graduação. Muito obrigado por acreditar em mim.



## AGRADECIMENTOS

Quero agradecer de coração aos meus pais, Cleber Alves da Silva e Ana Maria Marcis, pela educação e por guiarem meu caminho até mais esta etapa da minha vida. Gratidão a vocês.

Agradeço meus avôs pelos seus exemplos de vida, João e [in memoriam] Alzira Alves; Paulo e Tecla Marcis. Esta última pelos incentivos e por acreditar sempre na minha capacidade.

Agradeço o meu professor orientador, Pedro Luiz Borges Chaffe, por sua paciência e dedicação, sendo fundamental para a realização deste trabalho.

A todos os professores que tive na graduação, em especial aos professores do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental que contribuíram para minha formação

À minha namorada, Maria Luiza de Oliveira Souza, pelo apoio incondicional em todos os momentos, pelo carinho, companheirismo e força para lutar.

Um agradecimento também a todos os meus familiares, amigos e colegas de faculdade que contribuíram com a minha graduação.

À Universidade Federal de Santa Catarina por ter me dado a oportunidade de desenvolver uma formação acadêmica, e todos os funcionários e servidores que trabalham e ajudam a manter esta universidade



## RESUMO

Aproveitamentos hídricos consistem em 80% da matriz elétrica brasileira. As pequenas centrais elétricas (PCH's) e Usinas Hidrelétricas (UHE's) causam significativos impactos ambientais. Ao invés de uma central de grandes dimensões, pode-se considerar a construção de diversas pequenas centrais ao longo do curso do rio. Utilizando o *software ArcGis 10.1* foi feita a delimitação das bacias hidrográficas dos empreendimentos hidrelétricos. As sub-bacias traçadas foram caracterizadas e aplicou-se uma matriz de impactos aos empreendimentos. Não foi encontrada relação entre os parâmetros morfométricos e os empreendimentos. As PCH's implantadas em sequência no curso do rio causam mais impactos que uma única UHE.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento, Bacias hidrográficas, energia hidrelétrica, impactos.



## **ABSTRACT**

Hydropower consists about 80% of Brazilian electricity production. Small and large hydropower centrals causes significant environmental impacts. Instead of a huge hydropower, maybe considered the construction of several small hydropower centrals throughout the river course. Watersheds of hydropower plants have been delimited using *ArcGis 10.1*. No relationship found between morphometric parameters and hydropower plants. Small hydropower centrals in a row causes more impacts than one large hydropower central.

**Keywords:** Geoprocessing. Watershed. Hydropower. Impacts.





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Potencial total aproveitável de energia hidrelétrica no Brasil, destaque para SC (a) e fases dos aproveitamentos em SC (b) .....	30
Figura 2 - Fluxograma das etapas metodológicas.....	39
Figura 3 - Pontos dos aproveitamentos hidrelétricos de SC.....	42
Figura 4 - Mosaico das imagens SRTM .....	44
Figura 5 - Fluxograma ilustrativo do processo de delimitação das sub-bacias. ....	45
Figura 6 - Figura de declividades .....	47
Figura 7 - Figura Mancha Urbana e Unidades de Conservação.....	50
Figura 8 - Figura das sub-bacias de todos os aproveitamentos hidrelétricos em SC divididos por região hidrográfica.....	52
Figura 9- Figura das sub-bacias dos aproveitamentos hidrelétricos em SC divididos por fases operacionais e região hidrográfica .....	53
Figura 10- Histograma de Área da Sub-bacia de PCH's (a) e UHE's (b).....	54
Figura 11- Histograma de Área do Reservatório de PCH's (a) e UHE's (b) .....	55
Figura 12- Histograma de Potência Instalada em PCH's (a) e UHE's (b) .....	55
Figura 13 - Figura de potência das PCH's.....	57
Figura 14 - Figura de potência das UHE's .....	58
Figura 15 - Potência por Área de Reservatório de PCH's total (a), destacando até 14 km <sup>2</sup> de reservatório (b) e até 3,5 km <sup>2</sup> (c).....	59
Figura 16 - Potência por Área de Reservatório de UHE's.....	60
Figura 17 - Distribuição da relação Potência x Área do Reservatório de PCH's por região hidrográfica.....	61
Figura 18 - Distribuição da relação Potência x Área do Reservatório de UHE's por região hidrográfica .....	62
Figura 19 - Relação entre Potência Instalada/Área de Reservatório de PCH's por região hidrográfica e Área da Sub-bacia total (a), detalhe para até 1000 km <sup>2</sup> de área (b) e detalhe até 500 km <sup>2</sup> de área (c) .....	63
Figura 20 - Relação entre Potência Instalada/Área de Reservatório de UHE's por região hidrográfica e Área da Sub-bacia.....	64
Figura 21 - Comparativo entre comprimento de trechos naturais de rios e depois segmentados PCH's.....	65
Figura 22 - Comparativo entre comprimento de trechos naturais de rios e depois segmentados PCH's.....	65
Figura 23 - Figura coeficiente de compacidade das sub-bacias .....	67
Figura 24 - Figura largura média das sub-bacias .....	68
Figura 25 - Figura densidade de drenagem das sub-bacias.....	69
Figura 26 - Figura fator de forma das sub-bacias .....	70
Figura 27 - Figura índice de circularidade das sub-bacias.....	71
Figura 28 - Figura da matriz de impactos ambientais para PCH's .....	76
Figura 29 - Figura da matriz de impactos ambientais para UHE's.....	77



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros Morfométricos .....	46
Tabela 2 - Matriz de impactos ambientais .....	48
Tabela 3 - Matriz de impactos PCH's totais .....	73
Tabela 4 - Matriz de impactos UHE's totais .....	74
Tabela 5 - Parâmetros Morfométricos de bacias aproveitadas por PCH's (a) e UHE's (b) divididos por região hidrográfica .....	83
Tabela 6 - Matriz de impactos PCH's na região hidrográfica Peperi-Guaçu/Antas .....	84
Tabela 7 - Matriz impacto PCH's na região hidrográfica Chapecó/Irani .....	84
Tabela 8 - Matriz de impactos PCH's na região hidrográfica Peixe/Jacutinga.....	85
Tabela 9 - Matriz de impactos PCH's na região hidrográfica Negro/Canoinhas...	85
Tabela 10 - Matriz de impactos PCH's na região hidrográfica Canoas .....	86
Tabela 11- Matriz de impactos PCH's na região hidrográfica Itajaí .....	86
Tabela 12 - Matriz de impactos PCH's na região hidrográfica Cubatão Norte/Itapocu.....	87
Tabela 13 - Matriz de impactos PCH's na região hidrográficaTijucas/Cubatão Sul/Madre .....	87
Tabela 14 - Matriz de impactos PCH's na região hidrográfica Tubarão/D'Uma ..	88
Tabela 15 - Matriz de impactos UHE's na região hidrográfica Peperi-Guaçu/Antas .....	88
Tabela 16 - Matriz de impactos UHE's na região hidrográfica Chapecó/Irani.....	89
Tabela 17 - Matriz de impactos UHE's na região hidrográfica Peixe/Jacutinga ...	89
Tabela 18 - Matriz de impactos UHE's na região hidrográfica Canoas .....	90
Tabela 19- Matriz de impactos UHE's na região hidrográfica Itajaí.....	90
Tabela 20 - Matriz de impactos UHE's na região hidrográfica Cubatão Norte/Itapocu.....	91



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica  
CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica  
ESRI - Environmental Systems Research Institute  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
PCH – Pequena Central Elétrica  
RH – Região Hidrográfica  
SIG – Sistema de Informações Geográficas  
SIGEL – Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico  
UHE – Usina Hidrelétrica



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>29</b>
<b>2. OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>33</b>
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	33
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>35</b>
3.1. ENERGIA HIDRELÉTRICA .....	35
3.2. IMPACTOS .....	36
3.3. CARACTERIZAÇÃO E PLANEJAMENTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
3.4. LICENCIAMENTO .....	38
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>39</b>
4.1. ÁREA DE ESTUDO .....	40
4.2. COLETA DE DADOS.....	43
4.3. DELIMITAÇÃO DAS SUB-BACIAS .....	44
4.4. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA .....	46
4.5. ÍNDICES DE VULNERABILIDADE E IMPACTOS .....	48
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>51</b>
5.1. CARACTERIZAÇÃO DE SUB-BACIAS .....	51
5.2. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA .....	66
5.3. ÍNDICES DE VULNERABILIDADE E IMPACTOS .....	72

<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>78</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>80</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>82</b>







## 1. INTRODUÇÃO

Os modelos de desenvolvimento adotados durante o século passado utilizaram energia para expansão e desenvolvimento de tecnologias. Muitas fontes de energia eram baseadas em combustíveis fósseis (ANEEL, 2008).

A partir da revolução industrial, a intensificação da necessidade de energia fez com que diversas fontes tenham sido exploradas para obtenção de energia e em decorrência disto os impactos ambientais foram aumentando sua intensidade.

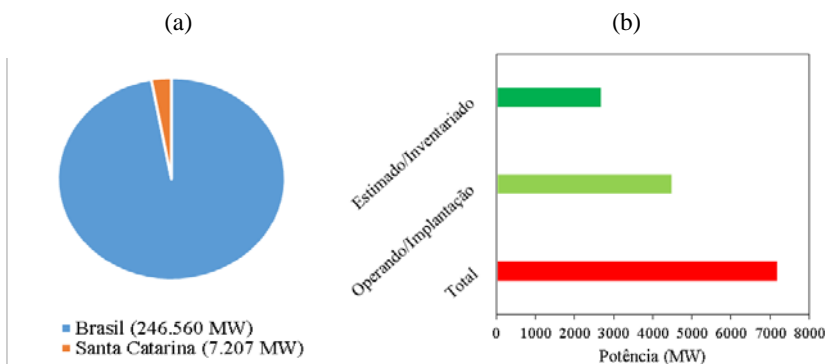
Os diversos impactos ambientais que começaram a prejudicar a saúde da população e o meio ambiente, além da percepção de que as fontes exploradas poderiam se esgotar, se tornou imprescindível a procura por novos modelos de geração de energia. A procura de modelos considerados menos impactantes ao meio ambiente e a busca pela sustentabilidade levaram ao desenvolvimento de muitas formas de aproveitamento de energia.

Os recursos hídricos, em especial os rios, são uma excelente fonte para aproveitamento hidrelétrico, onde a energia cinética e potencial da água em energia elétrica. Estes tipos de aproveitamentos são considerados fontes de energia renováveis (ANEEL, 2008).

Atualmente, com a contínua e crescente demanda por energia elétrica, existem questões sem respostas unânimes por parte dos pesquisadores. Uma das dúvidas é o impacto ambiental que os diferentes aproveitamentos hidrelétricos podem causar e qual deles seria maior. Nesta lógica pode-se pensar em uma Usina Hidrelétrica de grande porte ou uma sequência de Pequenas Centrais Elétricas ao longo do curso do rio.

Segundo o Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro (SIPOT), em julho de 2014 o Brasil possui entre os potenciais estimados, inventariados, em construção e operação de aproveitamentos hidrelétricos um potencial total de 246.560 MW. Deste total, Santa Catarina possui 7.207 MW aproveitáveis, o que representa aproximadamente 3% do potencial brasileiro (Figura 1).

Figura 1- Potencial total aproveitável de energia hidrelétrica no Brasil, destaque para SC (a) e fases dos aproveitamentos em SC (b)



Fonte: SIPOT 2014

Do total aproveitável no estado, aproximadamente 2.700 MW é apenas estimado ou inventariado.

O Brasil possui abundância em rios que podem ser explorados devido as suas características. O estado de Santa Catarina também tem um grande potencial de geração hidrelétrica elétrica, e de fato muitos de seus rios já possuem PCHs e UHEs. A diferença entre esses dois tipos de aproveitamentos se dá basicamente pelo porte, potência instalada e área do reservatório.

Empreendimentos de geração de energia elétrica são indispensáveis atualmente devido à crescente demanda, mas além dos benefícios geram algum impacto. O aprimoramento da engenharia e as tecnologias avançadas permitiram projetar e operar enormes empreendimentos. Com a evolução desta tecnologia se começou a pensar na sequência de centrais de menores portes em substituição a uma grande central. Incentivos fiscais e legais foram dados aos empreendimentos que fossem enquadrados como PCHs, e essa forma de aproveitamento de energia foi amplamente difundida (BRASIL, 2004).

Atualmente, estudos buscam entender e verificar se as PCH's trazem menores impactos relacionados a UHE's (Kibler e Tullos, 2011). A pergunta do trabalho é: O que causa mais impacto ambiental, uma UHE ou uma sequência de PCH's?

O conhecimento das características de bacias hidrográficas utilizadas na geração de energia elétrica e o entendimento dos impactos decorrentes de aproveitamentos hidrelétricos são fundamentais para o licenciamento ambiental dos projetos. O trabalho propõe que o licenciamento de obras hidrelétricas deve ser feito de forma integrada e considere outros usos e empreendimentos a nível de bacia hidrográfica.

Foram estudadas as características das bacias hidrográficas e alguns aspectos ambientais das PCHs e UHEs existentes no estado através de softwares que operam com SIG - Sistema de Informações Geográficas, que permite sua espacialização geográfica e a análise integrada de dados, proporcionando uma visão abrangente do território.

Os pontos foram levantados a partir de dados obtidos nas fontes disponibilizadas por órgãos do governo que compõem o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos. Estes dados foram integrados e trabalhados para a geração dos divisores de água das bacias hidrográficas que tem como ponto de descarga os pontos de PCHs e UHEs. Foram levantados dados referentes as regiões de Santa Catarina, mancha urbana, unidades de conservação, além de outros dados que possam ser conflitantes e revelados como potencial vulnerabilidade.



## **2. OBJETIVO**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

O objetivo do trabalho é caracterizar bacias hidrográficas que são utilizadas na geração de energia por Pequenas Centrais Elétricas (PCH's) e Usinas Hidrelétricas (UHE's) em Santa Catarina.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Analisar a distribuição das características fisiográficas das bacias hidrográficas de PCH's e UHE's;
- b) Encontrar relação dos parâmetros morfométricos com as PCH's e UHE's.
- c) Verificar os impactos de PCH's e UHE's utilizando uma matriz de impactos ambientais





### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. ENERGIA HIDRELÉTRICA

Ao fazer uma pesquisa sobre energia, matriz elétrica brasileira e aproveitamentos hidráulicos, se percebe o enorme incentivo que se tem dado a Pequenas Centrais Elétricas (PCH's). Em 2004, o Ministério de Minas e Energia criou o Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA. Diante do cenário de necessidade de energia para o desenvolvimento econômico país aliada as exigências ambientais, a ANEEL (2003) definiu, por meio de uma resolução o enquadramento dado a PCH's. A Resolução 652/2003 da ANEEL define que um aproveitamento hidráulico será enquadrado como PCH se:

- a potência gerada for superior a 1MW e igual ou inferior a 30MW;

- área do reservatório seja inferior a 3km<sup>2</sup>, se não, atendendo a inequação:

$$A \leq \frac{14,3 \cdot P}{Hb},$$

onde: A = área do reservatório em km<sup>2</sup>,

P = potência instalada em MW e

Hb = queda bruta em m.

Sendo que o limite máximo do reservatório é de 13km<sup>2</sup>.

A Resolução ainda permite outros valores para área do reservatório, desde que ele tenha sido dimensionado para outros fins, exceto para geração de energia.

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), conforme descrito no Decreto nº 5.025, de 2004, foi instituído com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base em fontes eólica, biomassa e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's) no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN).

### 3.2. IMPACTOS

De acordo com o Artigo 1º da RESOLUÇÃO CONAMA 01/86, impacto ambiental é considerado como “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais.”

Na leitura desta definição de impactos, pode-se afirmar que ambos os aproveitamentos, tanto as PCHs como as UHEs causam impactos ambientais em no mínimo três dos domínios considerados pela Resolução.

É acreditado que PCHs, por serem empreendimentos menores, causam menos impactos quando comparados a UHEs (Tiago et al., 2003). Por este motivo, esses empreendimentos são cada vez mais explorados (Reis, 2003).

O crescente aproveitamento hidráulico por meio de PCHs é preocupante, visto que os impactos ambientais decorrentes ainda não são totalmente conhecidos e mensurados. Portanto existe a necessidade de estudos de viabilidade ambiental destes empreendimentos (Souza et al., 2011).

Os impactos de PCHs ainda não são totalmente conhecidos, sendo que quando são propostas em sequência podem gerar impactos de mesma ordem ou até maiores que UHEs. (Nascimento e Drummond, 2003).

A UHE utiliza-se geralmente de um reservatório para acúmulo de água, não alterando a direção do rio. Já a PCH na maioria das vezes utiliza trechos sinuosos e declivosos, altera o curso natural desviando a água para canais para tomada nas turbinas, devolvendo a água em outro trecho. Isto acaba por promover a diminuição da vazão ou até mesmo a secagem de grandes trechos de rios. (Kibler e Tullos, 2011)

A construção de várias PCHs na mesma sub-bacia, ou em “cascata”, pode caracterizar grandes impactos. Por esse motivo, a caracterização dessas sub-bacias é fundamental para a avaliação dos impactos e do desenvolvimento socioeconômico local pela oferta de energia. (Leão, 2008).

Alguns dos impactos que os barramentos podem causar são a alteração da vazão natural e do regime de escoamento do rio. Isto interfere diretamente na dinâmica do ecossistema impactado, alterando o fluxo de nutrientes, sedimentos e também a fauna e flora aquática (Bakker, 2011).

### 3.3. LICENCIAMENTO

Visando a regulação ambiental de empreendimentos, o Conselho Nacional do Meio Ambiente instituiu a RESOLUÇÃO CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986, que tem como objetivo estabelecer diretrizes básicas para avaliação de impacto ambiental. No ano seguinte, o licenciamento de empreendimentos de aproveitamento elétrico foi regulamentado pela RESOLUÇÃO CONAMA nº 6, de 16 de setembro de 1987. Posteriormente foi complementada pela RESOLUÇÃO CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Em tais resoluções estão fixadas regras gerais e critérios a serem adotados no processo do licenciamento. De acordo com as diretrizes, devem estar incluídos nos estudos de impactos ambientais, além de outros aspectos, a caracterização da região a ser instalada. Deve ser feito de forma integrada considerando outros empreendimentos existentes e o impacto que o novo empreendimento pode trazer ao existente. A bacia hidrográfica a qual se insere o empreendimento deve ser avaliada.

A definição do estudo a ser feito para a obtenção das licenças, se será simplificado ou não, dependerá das características do empreendimento e da região que ele se insere, porém, a CONAMA nº 1/86 fixa que aproveitamentos elétricos com mais de 10 MW devem ter estudo de impacto ambiental acompanhado de relatório de impacto (EIA/RIMA). Ainda assim, o órgão ambiental responsável pelo licenciamento do empreendimento poderá definir suas próprias diretrizes. Isto pode levar, em certas ocasiões, a escolha por instalar algumas PCH's ao invés de uma UHE devido a redução das exigências ambientais.

Kibler (2011) sugeriu em seu trabalho que sejam revistas as políticas e a legislação de incentivo ao licenciamento de PCH's por acreditar que seus impactos são da mesma ordem que os de UHE's, necessitando, portanto, de estudos mais completos e avaliação integrada para serem licenciados.

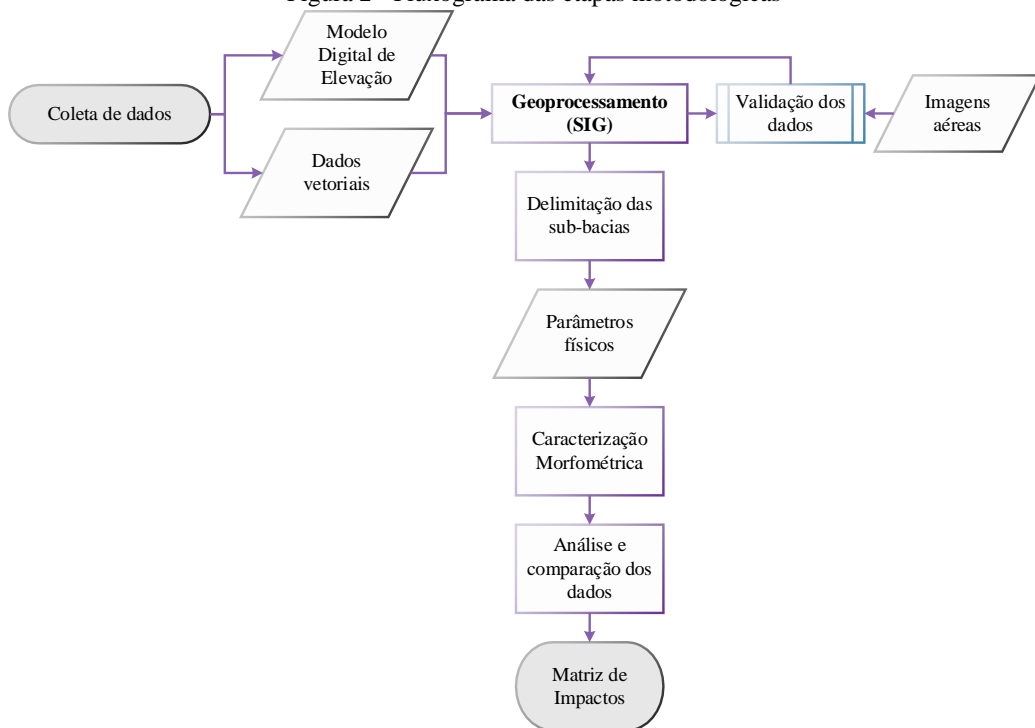
#### 4. METODOLOGIA

O material utilizado para a realização do presente trabalho foi um computador equipado com o *software ArcGis 10.1* que opera com Sistemas de Informação Geográfica e suas ferramentas auxiliares, tal como uma ferramenta de hidrologia que auxilia no traçado de divisores de água. Também foi usado um *software* de edição de tabelas e gráficos.

O tralho tem início na coleta de dados para entrada no *software*, validação dos dados, delimitação das sub-bacias, extração de parâmetros físicos, realização da caracterização morfométrica, análise e comparação dos dados e uma matriz de impctos.

Para auxiliar na compreensão das etapas desenvolvidas neste trabalho, um fluxograma foi criado (Figura 2). Nele são expostas as etapas metodológicas detalhadas neste capítulo.

Figura 2 - Fluxograma das etapas motodológicas



A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, instituiu instrumentos e diretrizes para a gestão de recursos hídricos definindo as bacias hidrográficas como unidades de gestão.

A partir definição da bacia como unidade de gestão, procurou-se definir características das bacias hidrográficas com o intuito de comparação e de análise entre dois diferentes modelos de aproveitamentos hidrelétricos. As bacias hidrográficas serão divididas em sub-bacias de acordo com os pontos de interesse (exutórios).

A modelagem da bacia hidrográfica por um SIG é feita a partir de um Modelo Digital de Elevação, que proporciona a definição de parâmetros físicos relacionados a topografia, rede de drenagem, e divisão em sub-bacias. (Troch et al., 2003).

Os índices fisiográficos elencados para caracterização de impactos de ambientais pelos empreendimentos são tais como o volume do reservatório e dos rios, a área do reservatório, área das sub-bacias, distância entre barramentos, entre outros (Kibler e Tullos, 2011).

Os índices mais relevantes para a caracterização das bacias serão: área do reservatório, área das sub-bacias, distância a outros barramentos, proximidade a centros urbanos e unidades de conservação e também será feito a caracterização morfométrica. Estes parâmetros da bacia serão aliados a potência gerada pelos aproveitamentos para definição de indicadores de impactos (Kibler, 2011).

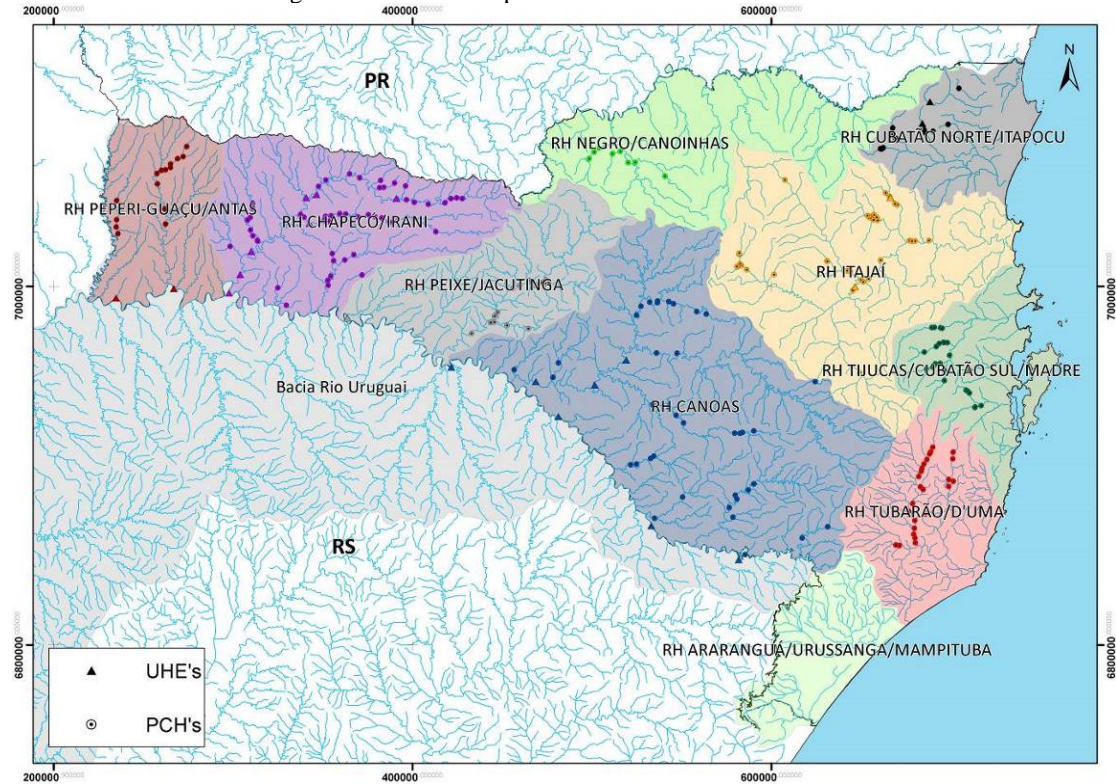
#### 4.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho compreende as bacias hidrográficas dos empreendimentos hidrelétricos pertencentes ao estado de Santa Catarina. O estado possui uma área de aproximadamente 95.736 km<sup>2</sup> e situa-se na região sul do país.

Segundo a Lei 10.949 de 1998, o governo do estado instituiu para fim de planejamento, gestão e gerenciamento dos recursos hídricos, dez regiões hidrográficas para o território estadual.



Figura 3 - Pontos dos aproveitamentos hidrelétricos de SC





#### 4.2. COLETA DE DADOS

Para a realização do trabalho, foram adquiridos dados em diferentes formatos, desde pontos de Pequenas Centrais Elétricas e Usinas Hidrelétricas, linhas de hidrografia, imagens de modelo digital de elevação, dados socioeconômicos e territoriais. Todos os dados estão disponíveis na *web*. A maioria dos dados obtidos estavam projetados em Datum SAD 69 UTM Zona 22S, portanto todos foram compatibilizados na mesma projeção.

Os dados de PCH e UHE, assim como a hidrografia usados no trabalho foram obtidos no *site* do Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) em formato *shapefile*. Constam 277 pontos de PCH e 23 UHE para o estado de SC. Estes são os empreendimentos já catalogados pela ANEEL para o estado no momento desta pesquisa, sendo que alguns estão em fase de estudos, licenciamento ambiental, outorga, construção e operação. Cada ponto contém sua localização espacial georreferenciada, além de uma tabela com informações acerca do empreendimento, tal como sua potência outorgada e instalada, nos casos que já existem, área e volume do reservatório, altura da barragem, níveis de operação, data de criação, entre outros. A hidrografia é do inventário da ANEEL, com escala de 1.000.000.

Foram adquiridos dados georreferenciados de unidades de conservação (MMA), terras indígenas (FUNAI), assentamentos agrários (INCRA), municípios e mancha urbana (IBGE).

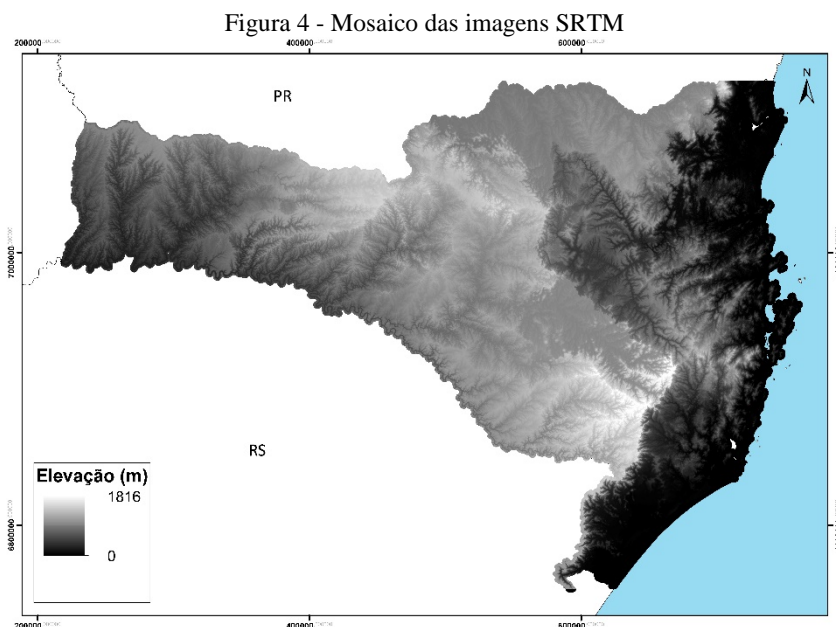
O modelo digital de elevação do estado de Santa Catarina foi disponibilizado pelo Epagri/CIRAM (<http://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca/>), com imagens de satélite produzidas pela *SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)* da NASA, a agência espacial americana. Estes dados em formato matricial têm resolução espacial de 90m, interpolados para uma resolução de 30m. O MDE é disponibilizado para cada uma das dez regiões hidrográficas do estado.

### 4.3. DELIMITAÇÃO DAS SUB-BACIAS

Foram delimitados os divisores de água relativos aos pontos obtidos de PCH's e UHE's no estado de Santa Catarina com propósito de caracterização.

A delimitação da bacia hidrográfica é feita pela ferramenta *ArcHydro* a partir do Modelo Digital de Elevação, que proporciona a definição de parâmetros físicos relacionados a topografia, rede de drenagem, e divisão em sub-bacias.

O MDT foi unido com as 10 regiões hidrográficas (Figura 4).

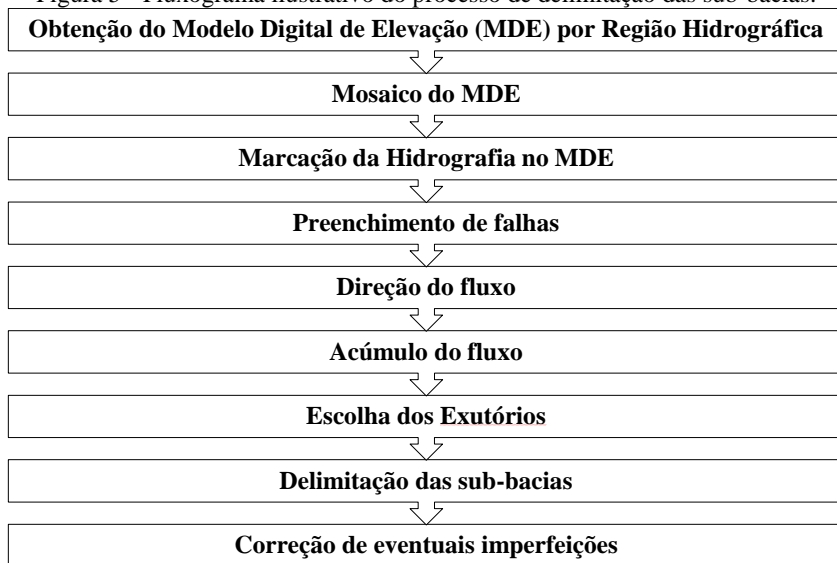


Com o mapa de MDE do estado, se marca a hidrografia no terreno pelo método *Agree* (HELLWEGER, Ferdi; MAIDMENT, David, 97). A hidrografia conhecida foi marcada no MDE, para que nas próximas etapas se tenha a garantia que a direção e o acúmulo do fluxo gerado sejam coerentes e a hidrografia representativa. Depois de marcada a hidrografia, se faz o preenchimento das falhas, que consiste basicamente em ajustar as células errôneas da matriz de dados do MDE para não haver defeitos nos passos seguintes. Esta etapa tem como função principal preparar o MDE para delimitação das sub-bacias.

Com o MDE preparado, foram gerados a direção e posteriormente o acúmulo do fluxo, parâmetros de entrada do modelo. A direção do fluxo é calculada por um algoritmo que define a direção de cada célula da matriz em 8 possibilidades (direções), por meio dos valores de elevação de cada célula da matriz do MDE, ele procura a maior declividade entre as células adjacentes ou vizinhas e atribui os valores de 1 a 128, de acordo com a direção. Portanto a direção do fluxo é formada pelas células que contribuem para o fluxo com a maior declividade entre as células adjacentes. Já o acúmulo de fluxo utiliza a direção do fluxo para calcular a área (células) acumulada para gerar o escoamento na direção do fluxo.

A partir dos pontos de PCH's e UHE's foram definidos os exutórios das sub-bacias. De posse destes dados, entra-se no modelo para delimitação das bacias. Os parâmetros de entrada são: os exutórios, o MDE marcado com a hidrografia e o acúmulo e direção de fluxo.

Figura 5 - Fluxograma ilustrativo do processo de delimitação das sub-bacias.



Além das sub-bacias, o mosaico do modelo digital de elevação subsidia a obtenção de informações de declividade do terreno.

#### 4.4. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

Foi realizada a caracterização morfométrica segundo alguns parâmetros dados na Tabela 1, obtidos da literatura tais como fator de forma, índice de compacidade, densidade de drenagem e densidade de rios, declividade média da bacia, classificação de ordem dos rios segundo Horton.

Tabela 1 - Parâmetros Morfométricos

Sigla	Parâmetro	Definição	Unidade	Referência
<b>K<sub>c</sub></b>	Índice de compacidade ou Gravelius	$K_c = \frac{P}{P_c}$	-	Strahler (1964)
<b>I<sub>c</sub></b>	Índice de circularidade	$I_c = \frac{4 \times A \times \pi}{P^2}$	-	Miller (1953)
<b>K<sub>f</sub></b>	Coeficiente de forma	$K_f = \frac{A}{L_p^2}$	-	-
<b>Lm</b>	Largura média da bacia	$Lm = \frac{A}{L_p}$	m	-
<b>Da</b>	Densidade de drenagem	$D_d = \frac{L_c}{A}$	km <sup>-1</sup>	Horton (1945)

A = Área da sub-bacia; L<sub>p</sub> = Comprimento do rio principal;

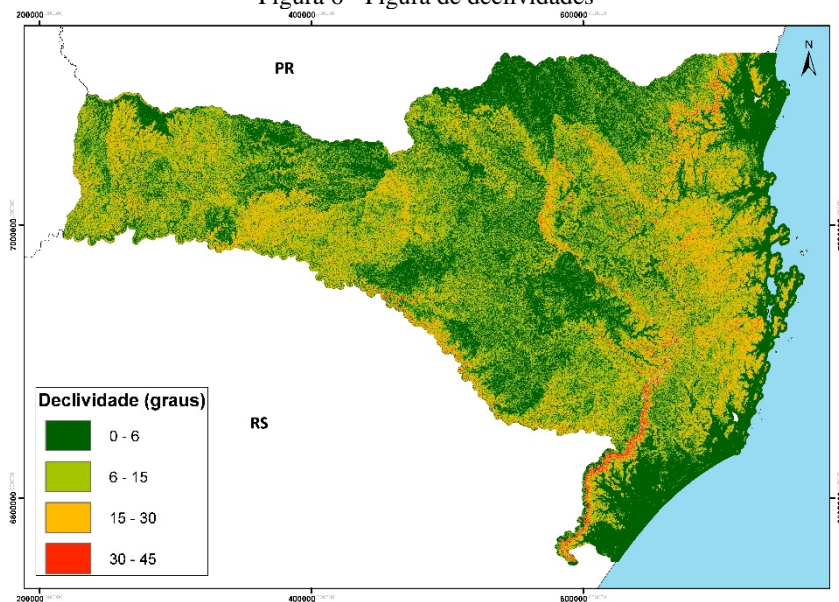
L<sub>c</sub> = Comprimento total dos rios; P = Perímetro

(-) Adimensional

A Figura 6 ilustra as declividades para o estado de Santa Catarina.

O estado em sua maioria apresenta declividades baixas e médias (0 a 30°) e que as maiores declividades são encontradas na serra geral.

Figura 6 - Figura de declividades



#### 4.5. ÍNDICES DE VULNERABILIDADE E IMPACTOS

Souza et al. (2011) propuseram uma matriz de impactos no estudo realizado para avaliar empreendimentos hidrelétricos na bacia do Rio Doce-MG, enquanto Perazolli et al. (2011) construíram uma matriz para avaliar impactos ambientais na bacia do Rio do Peixe-SC.

Desta forma, adaptou-se uma matriz de impactos ambientais (Tabela 2) de Souza et al. (2011) e Perazolli et al. (2011) para comparar os empreendimentos estudados neste trabalho. Nesta matriz os impactos são classificados por critérios e levam pesos de acordo com a magnitude do impacto. Baixo impacto ambiental tem peso 1, médio impacto peso 2 e alto peso 3.

Tabela 2 - Matriz de impactos ambientais

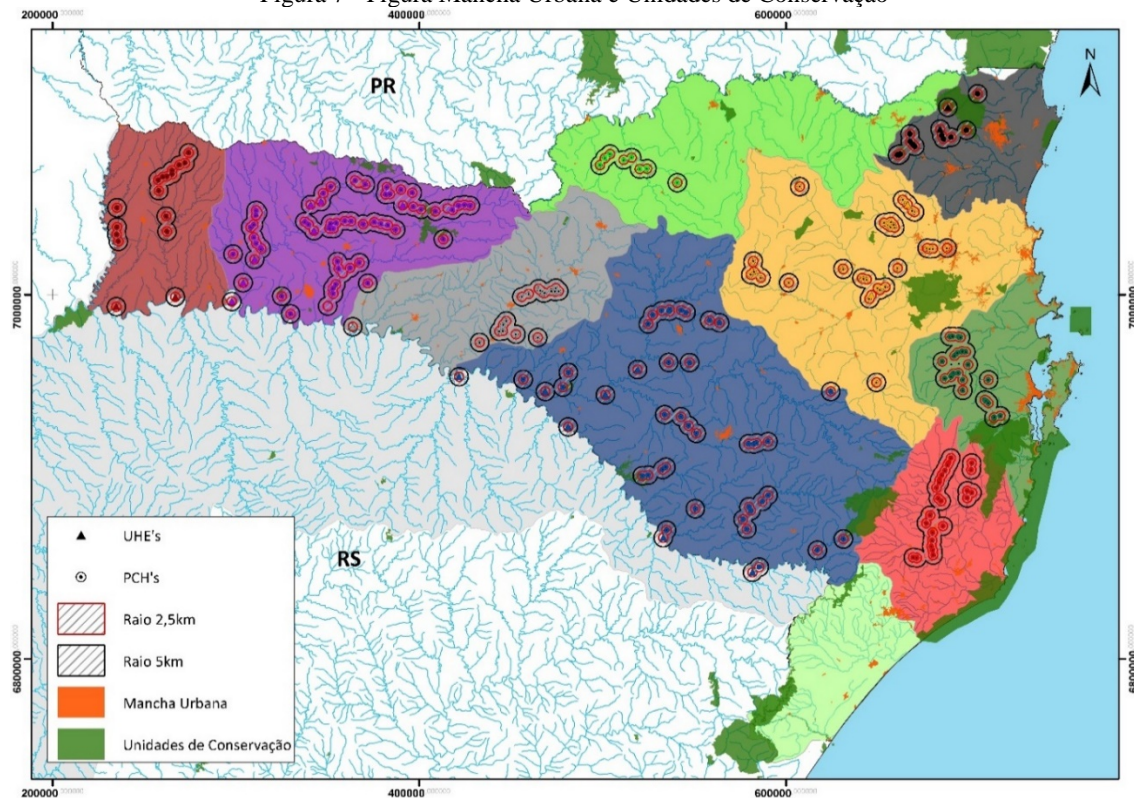
<b>Crítérios Ambientais</b>	<b>(1) Baixo Impacto Ambiental</b>	<b>(2) Médio Impacto Ambiental</b>	<b>(3) Alto Impacto Ambiental</b>
<b>Área alagada</b>	< 3 km <sup>2</sup>	3 km <sup>2</sup> a 13 km <sup>2</sup>	> 13 km <sup>2</sup>
<b>Potência instalada</b>	> 30 MW	1 a 30 MW	< 1 MW
<b>Produtividade</b>	> 10 MW/km <sup>2</sup>	2,13 a 10 MW/km <sup>2</sup>	< 2,13 MW/km <sup>2</sup>
<b>Distância entre barramentos</b>	> 30 km	10 a 30 km	< 10 km
<b>Distância de sedes urbanas</b>	> 5 km	2,5 a 5 km	< 2,5 km
<b>Distância de Unidades de Conservação</b>	> 5 km	2,5 a 5 km	< 2,5 km
<b>Soma dos critérios</b>	1-8	9-16	17-24

Baixo impacto = Peso 1; Médio impacto = Peso 2; Alto impacto = Peso 3

Fonte: Adaptado de Souza et al, 2011 e Perazolli et al, 2011

A Figura 7 auxiliou a identificação dos empreendimentos com proximidade a sedes urbanas e unidades de conservação. Como simplificação devido a inexistência dos dados de espelho d'água dos reservatórios, foram traçados círculos com raios de 2,5 e 5 km em cada ponto de PCH e UHE.

Figura 7 - Figura Mancha Urbana e Unidades de Conservação





## 5. RESULTADOS

Todos os pontos obtidos de PCH's e UHE's foram previamente analisados e verificados, tanto com imagens aéreas quanto nos registros da ANEEL e/ou páginas de pesquisa na *web*. Além de proporcionar a localização exata do empreendimento, foi possível distinguir os empreendimentos já instalados ou construindo e os que estão em fase de estudos e/ou projeto.

Do total de pontos 277 identificados dos empreendimentos para a realização deste trabalho, optou-se pela exclusão de 20 pontos que não tiveram imagens aéreas visualizadas e/ou registros na ANEEL não encontrados. Dos pontos estudados, 236 são PCH's e os outros 21 são UHE's. Do total de pontos de PCH's analisadas, verificou-se que 68 estão em fase de operação, 22 em implantação e outras 146 ainda estão em estudos. Já as UHE's, 9 estão em operação, 1 em implantação e outras 11 em estudos.

### 5.1. CARACTERIZAÇÃO DE SUB-BACIAS

O mapa das sub-bacias (Figura 8) permitiu a elaboração de comparativos que serão apresentados neste capítulo. Os comparativos feitos neste trabalho foram todos em relação aos 257 pontos de empreendimentos e suas respectivas sub-bacias, independentemente de sua fase (operação, implantação ou estudos). Entretanto a Figura 9 ilustra os empreendimentos divididos por suas fases.

Pode-se ver que a região hidrográfica com maior número de aproveitamentos é Chapecó/Irani, com 57 PCH's e 7 UHE's, sendo a região hidrográfica com maior potência instalada. Percebe-se também que em todas as regiões hidrográficas há projetos de PCH's em cascata ao longo do rio.

Figura 8 - Figura das sub-bacias de todos os aproveitamentos hidrelétricos em SC divididos por região hidrográfica

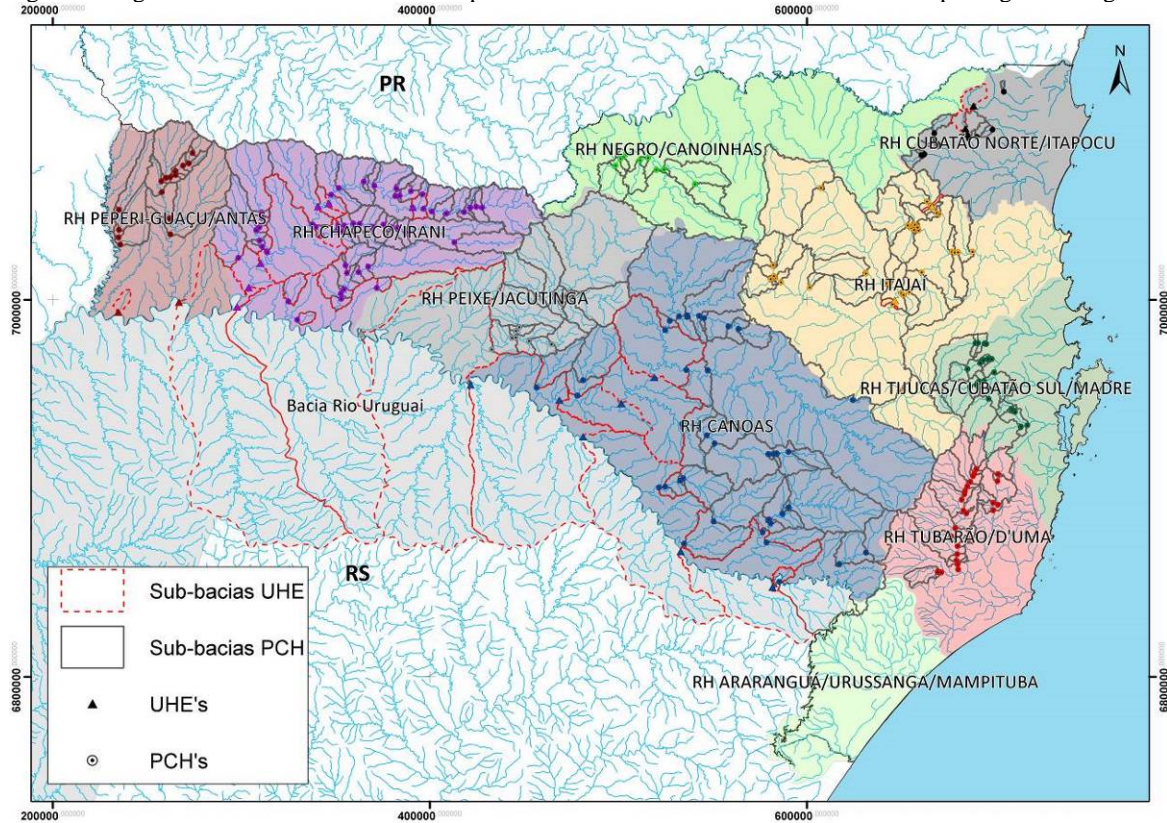
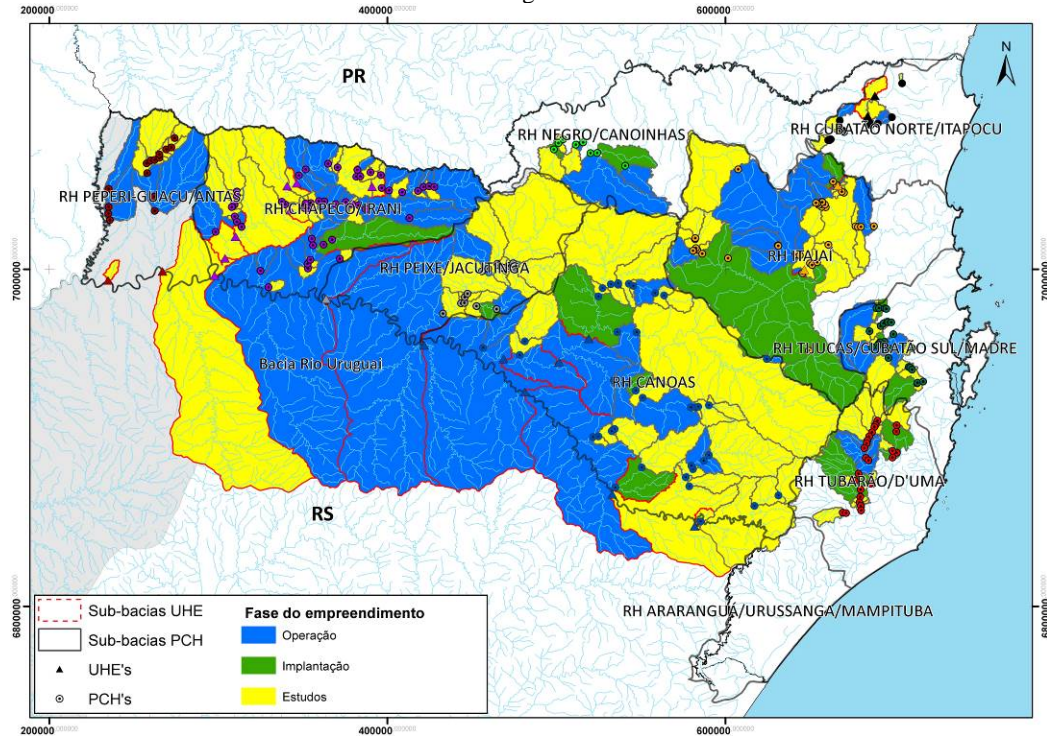


Figura 9- Figura das sub-bacias dos aproveitamentos hidrelétricos em SC divididos por fases operacionais e região hidrográfica



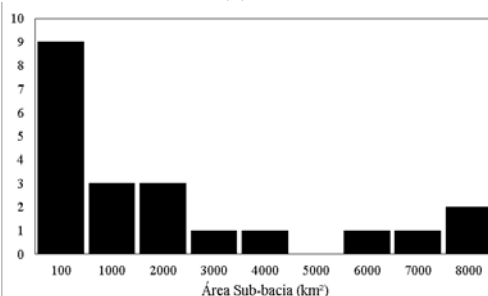
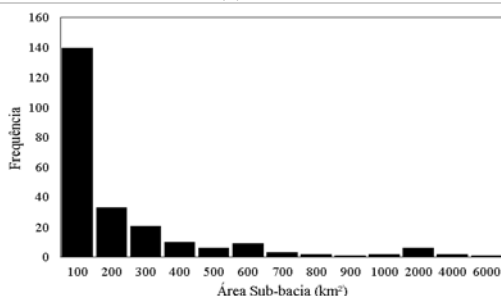
Da Figura 10 até a Figura 12 serão ilustradas distribuições de frequência (histogramas) acerca dos empreendimentos e suas sub-bacias. Pode-se afirmar a partir da Figura 10 (a) que 140 PCH's possuem áreas das sub-bacias de PCH's até 100 km<sup>2</sup>, com os pontos restantes apresentando frequência decrescente de aumento de área, quanto maior a área, menor o número de pontos, até 6000 km<sup>2</sup>. Metade das áreas de sub-bacias de UHE's (Figura 10 (b)) vão até 100km<sup>2</sup>. Os outros empreendimentos se situam numa faixa até 8000km<sup>2</sup> de área.

Portanto não se percebeu relação no tamanho da área das sub-bacias e os aproveitamentos.

Figura 10- Histograma de Área da Sub-bacia de PCH's (a) e UHE's (b)

(a)

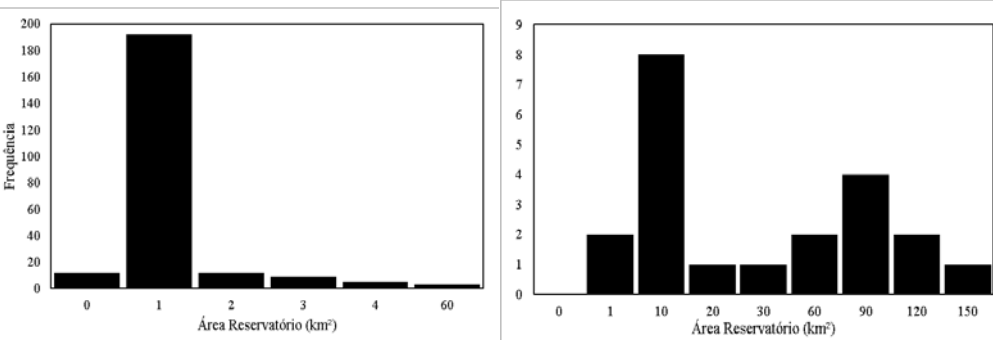
(b)



O histograma de área do reservatório (Figura 11 (a)) indica que existem 192 PCH's com área de até 1 km<sup>2</sup>, sendo que existem 12 que não possuem reservatório. Pode-se dizer que a maioria delas têm pequenos reservatórios.

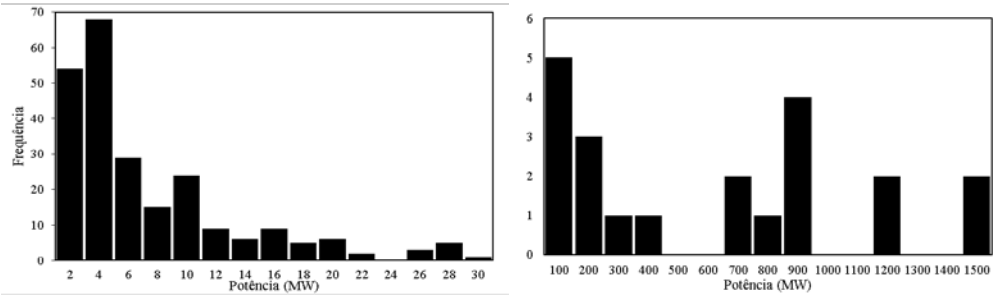
A Figura 11 (b) mostra que 8 pontos de UHE's tem o reservatório com área de até 10 km<sup>2</sup>. Porém existem UHE's com reservatórios de até 150km<sup>2</sup>.

Figura 11- Histograma de Área do Reservatório de PCH's (a) e UHE's (b)



Do histograma (Figura 12) verifica-se que a potência instalada nas PCHs (a) observadas é na sua maior parte até 10MW, sendo que a maioria se situa na faixa até 5 MW. As UHE's (b) têm potência de até 1500 MW, sendo que em 5 empreendimentos a potência é de até 100 MW e outros 7 têm potência de 700 a 900 MW. O somatório de potência de todos os pontos de PCH's é de aproximadamente 1800 MW, já as UHE's somam 12000 MW de potência. Isto representa que da potência instalada dos dois aproveitamentos, as UHE's contribuem com 87% de geração. É válido dizer que 236 PCH's representam apenas 13% do total potencial de geração para o estado e que as 21 UHE's geram aproximadamente 7 vezes mais potência do que todas as 257 PCH's.

Figura 12- Histograma de Potência Instalada em PCH's (a) e UHE's (b)



Os mapas a seguir ajudam a visualização da potência dos empreendimentos em sua região hidrográfica.

A região hidrográfica com maior potência instalada, tanto de PCH's quanto UHE's é Chapecó/Irani. Analisando a figura de declividades (Figura 6) não se percebe que as declividades são elevadas a ponto de justificar tal afirmativa. Logo, a declividade não teve grande influência na análise da potência instalada.



Figura 13 - Figura de potência das PCH's

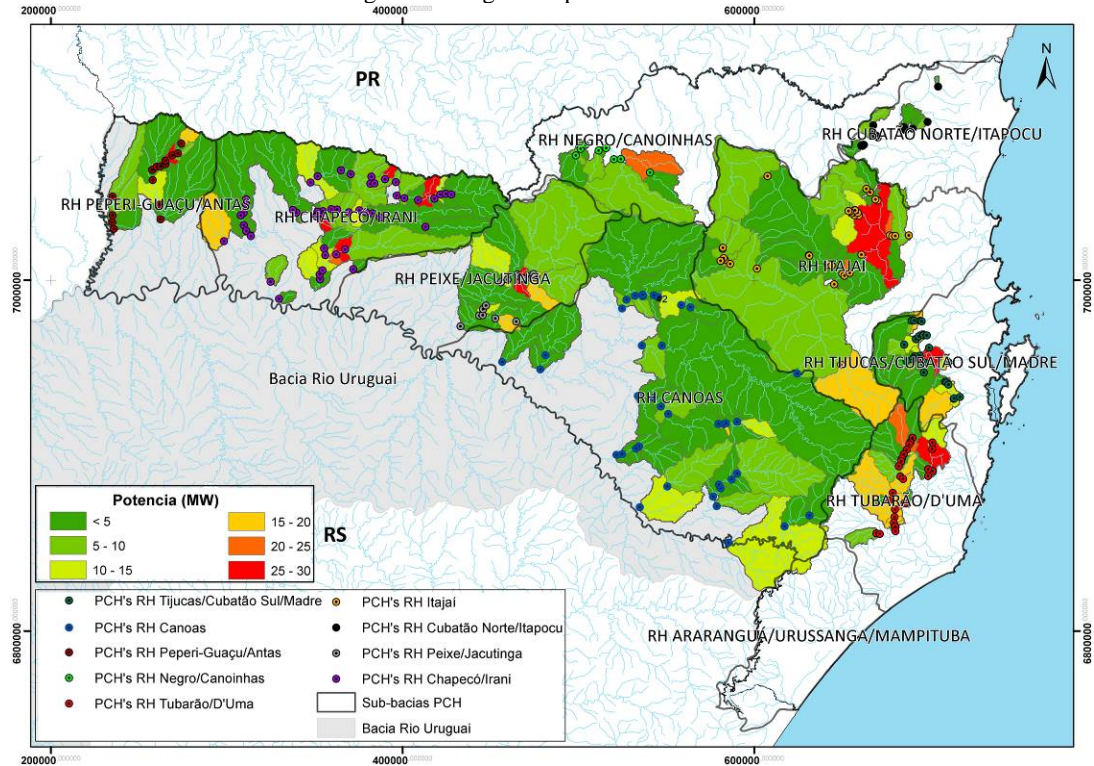
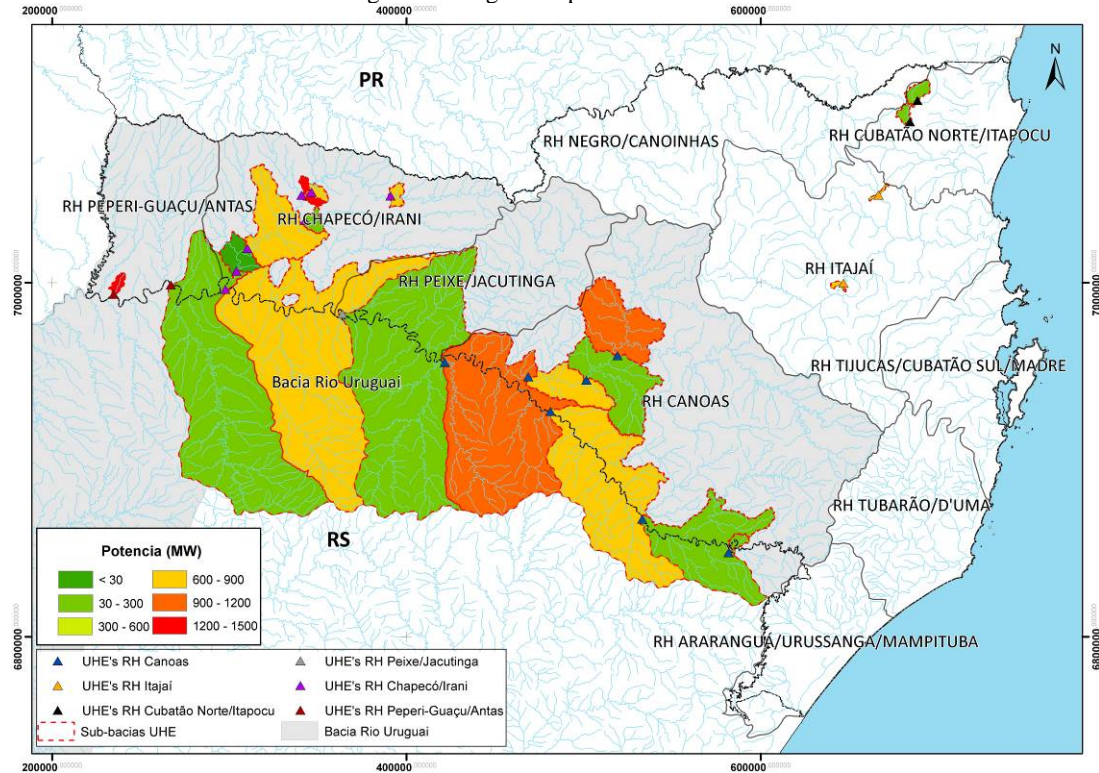


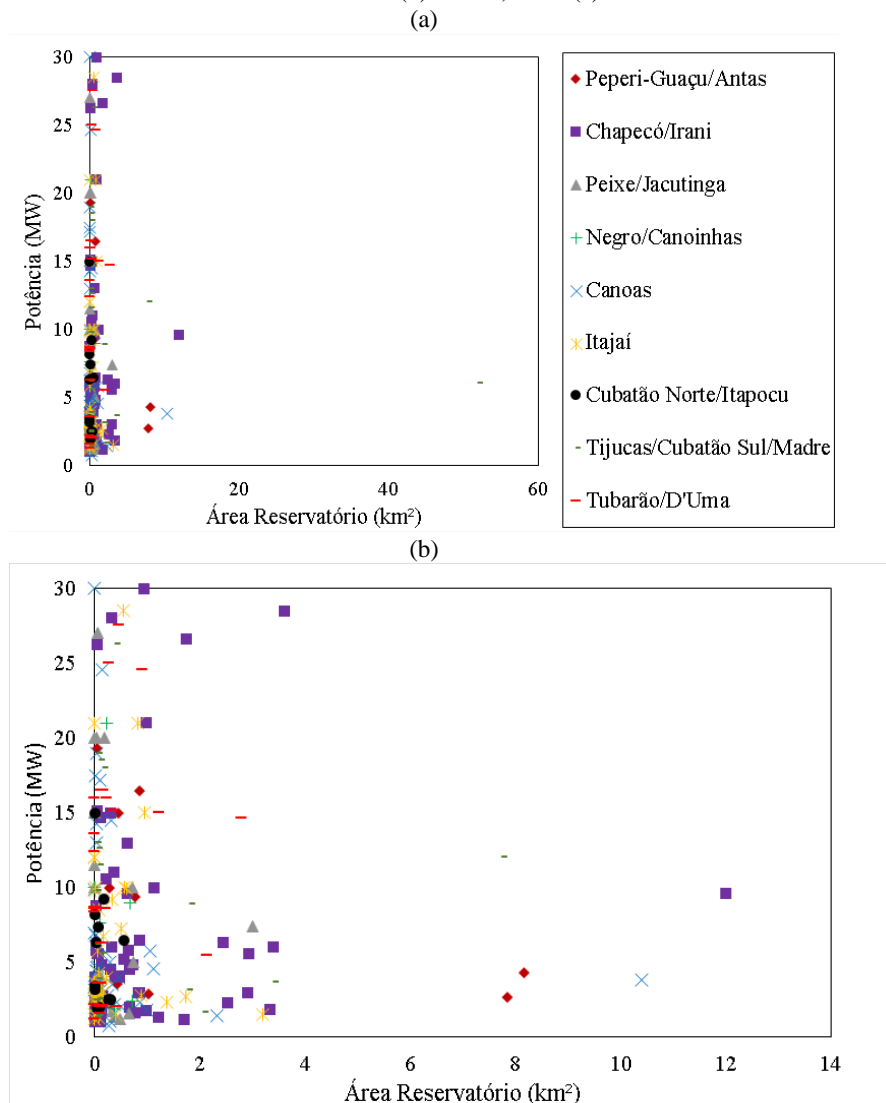
Figura 14 - Figura de potência das UHE's



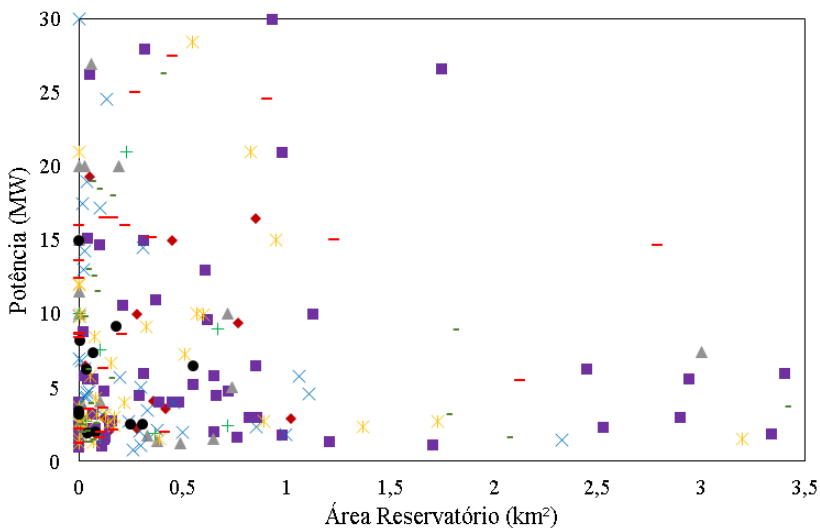


Os três próximos gráficos (Figura 15) ilustram a relação da potência instalada com a área do reservatório de PCH's. Não foi possível encontrar uma relação linear entre a potência e área do reservatório.

Figura 15 - Potência por Área de Reservatório de PCH's total (a), destacando até 14 km<sup>2</sup> de reservatório (b) e até 3,5 km<sup>2</sup> (c)

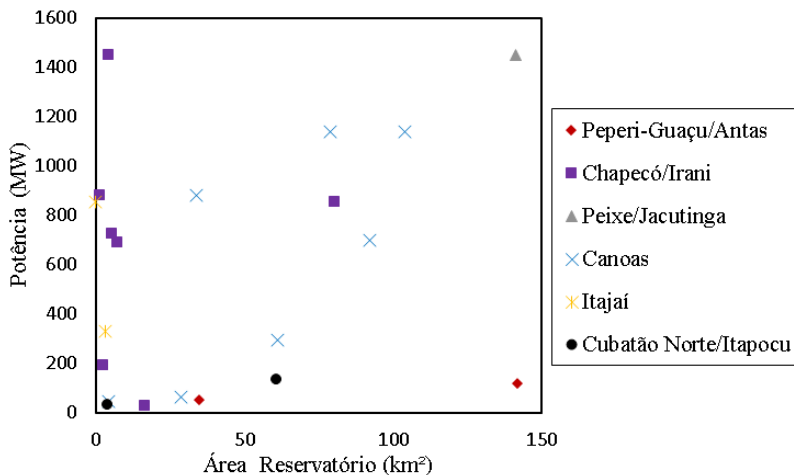


(c)



O Figura 16 mostra a relação da potência com a área do reservatório para as UHE's. Nota-se que as regiões hidrográficas das bacias dos rios Canoas, Cubatão Norte/Itapocu e Peperi-Guaçu/Antas tem uma relação crescente entre potência e área de reservatório. O mesmo não pode ser concluído para as bacias das regiões hidrográficas de Chapecó/Irani e Itajaí.

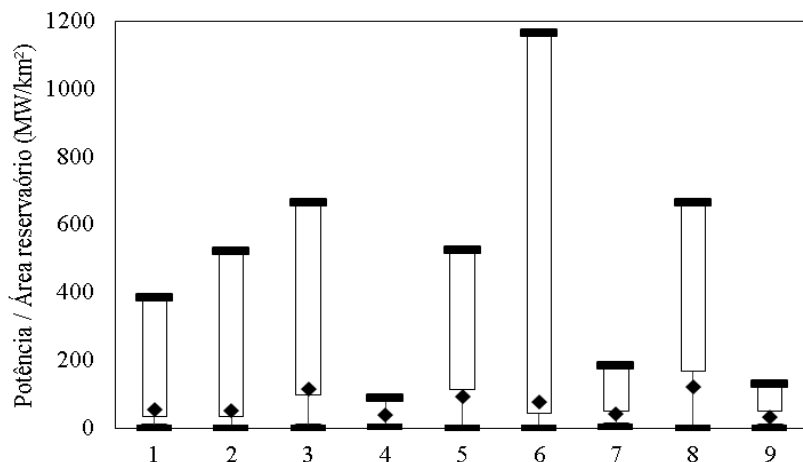
Figura 16 - Potência por Área de Reservatório de UHE's



Optou-se pela divisão dos empreendimentos por região hidrográfica para a análise da distribuição da relação de potência instalada por área de reservatório.

A distribuição da potência instalada por área de reservatório de PCH's dividida por região hidrográfica abaixo (Figura 17) indica que a região hidrográfica Tijucas/Cubatão Sul é a que possui maiores médias de aproveitamento em termos de produção de energia por área ( $\text{MW}/\text{km}^2$ ), seguida pela região hidrográfica dos rios do Peixe/Jacutinga. O maior valor encontrado pertence a bacia do rio Itajaí. Já a região da bacia dos rios Tubarão/D'Uma é a que possui a menor relação, e logo depois a bacia dos rios Negro/Canoinhas.

Figura 17 - Distribuição da relação Potência x Área do Reservatório de PCH's por região hidrográfica



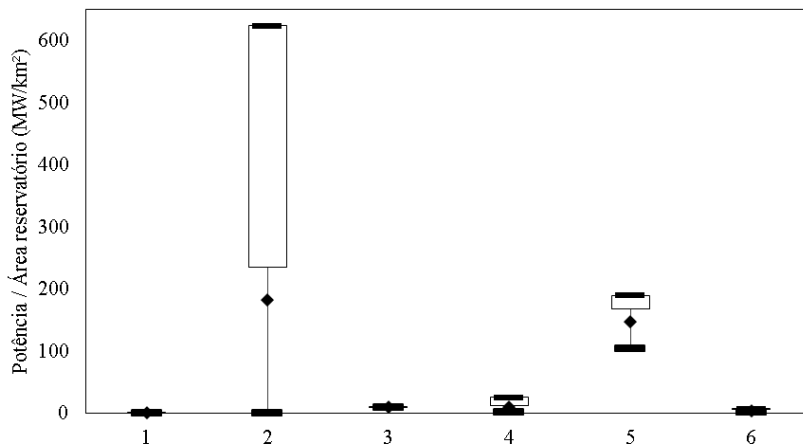
1 - Peperi-Guaçu/Antas; 2 - Chapecó/Irani; 3 - Peixe/Jacutinga;  
4 - Negro/Canoinhas; 5 - Canoas; 6 - Itajaí; 7 - Cubatão Norte/Itapocu;  
8 - Tijucas/Cubatão Sul/Madre; 9 - Tubarão/D'Uma

Da observação da Figura 18, evidencia-se que a região da bacia dos rios Chapecó/Irani é a que possui melhor eficiência em termos de potência dividido por área de reservatório e que a região hidrográfica dos rios Peperi-Guaçu/Antas é a que possui a menor taxa de eficiência, acompanhada pela região da bacia rio Itajaí.

Ressalta-se que as PCH's têm maiores médias quando comparadas às UHE's devido aos reservatórios em sua maioria possuírem áreas menores que  $1 \text{ km}^2$ .

Comparando as relações de PCH's e UHE's, percebe-se que as UHE's da região Chapecó/Irani são as que possuem maiores médias de eficiência.

Figura 18 - Distribuição da relação Potência x Área do Reservatório de UHE's por região hidrográfica



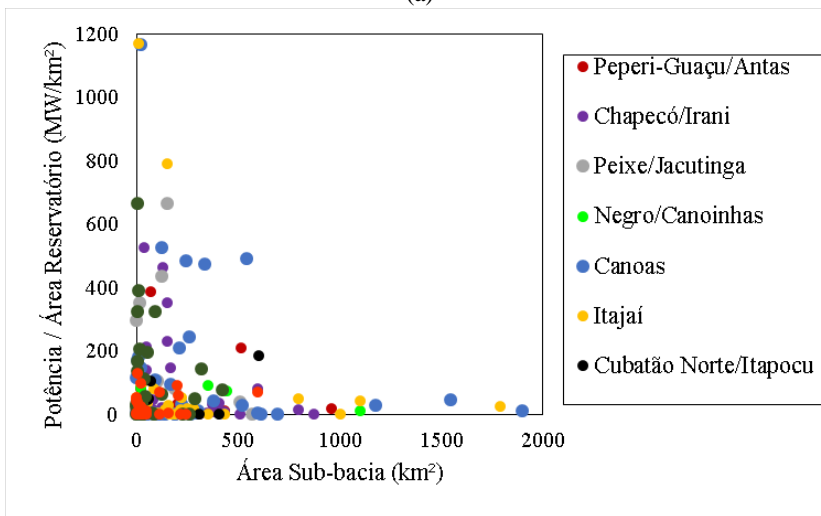
1 - Peperi-Guaçu/Antas; 2 - Chapecó/Irani; 3 - Peixe/Jacutinga;  
4 - Canoas; 5 - Itajaí; 6 - Cubatão Norte/Itapocu

A comparação da relação potência / área de reservatório é importante para caracterização de uma região com melhor eficiência de aproveitamento hidráulico.

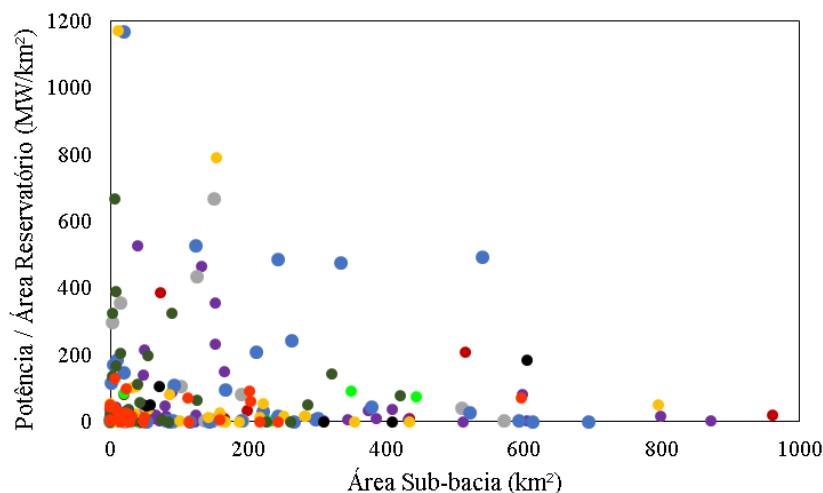
O gráfico (Figura 19) indica que não há influência da área da sub-bacia no aumento da relação potência por área do reservatório.

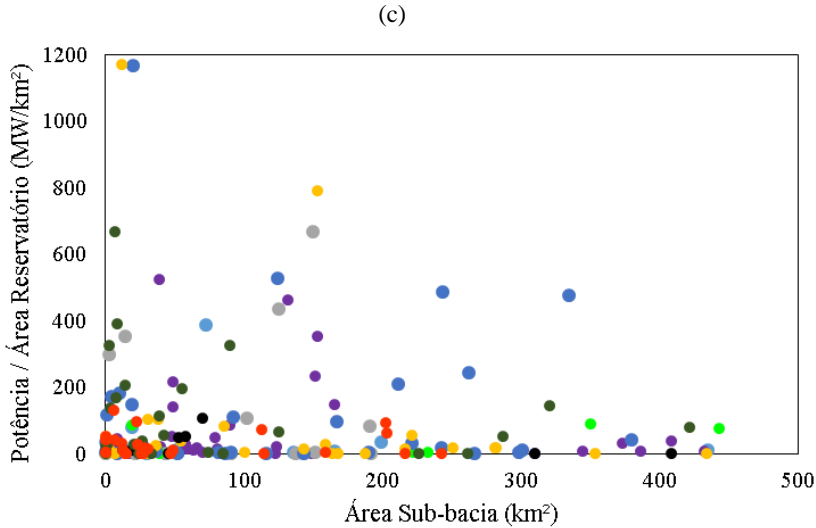
Figura 19 - Relação entre Potência Instalada/Área de Reservatório de PCH's por região hidrográfica e Área da Sub-bacia total (a), detalhe para até 1000 km<sup>2</sup> de área (b) e detalhe para até 500 km<sup>2</sup> de área (c)

(a)



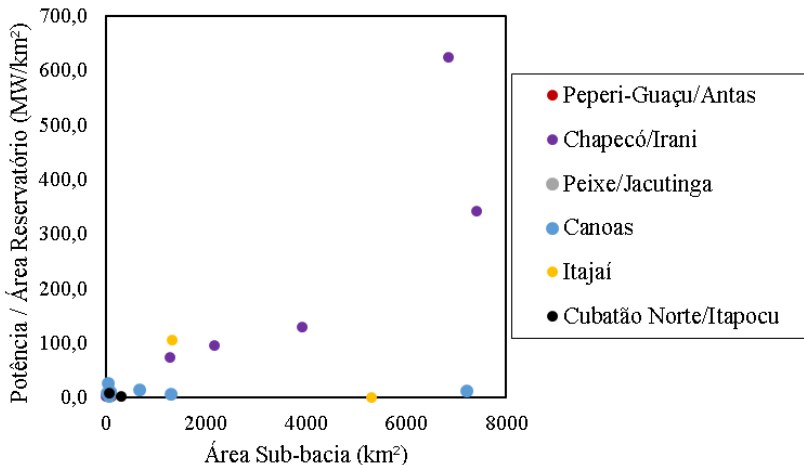
(b)





A Figura 20 indica, para a região hidrográfica da bacia dos rios Chapecó/Irani, um aumento na relação potência por área do reservatório com o aumento da área da sub-bacia. Porém para as outras regiões hidrográficas não se observa o mesmo comportamento.

Figura 20 - Relação entre Potência Instalada/Área de Reservatório de UHE's por região hidrográfica e Área da Sub-bacia



As figuras ilustram os comparativos de trechos de rios segmentados por PCH's (Figura 21) e UHE's (Figura 22) com os trechos naturais antes dos empreendimentos.

Percebe-se uma grande segmentação dos trechos de rios, impacto este que é potencializado pela implantação de empreendimentos seguidos no mesmo rio.

Figura 21 - Comparativo entre comprimento de trechos naturais de rios e depois segmentados PCH's

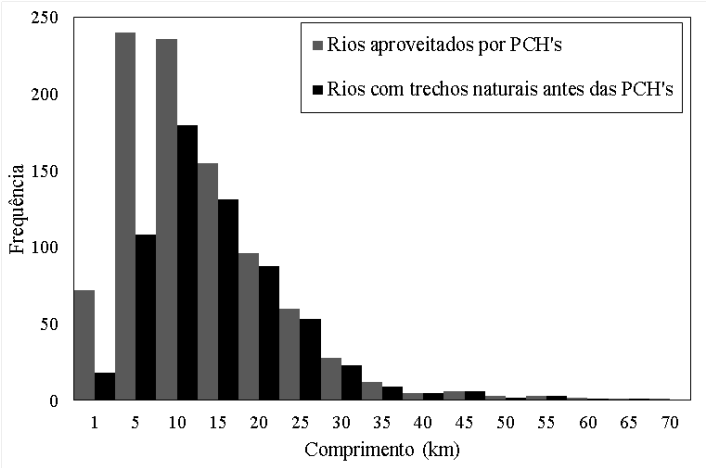
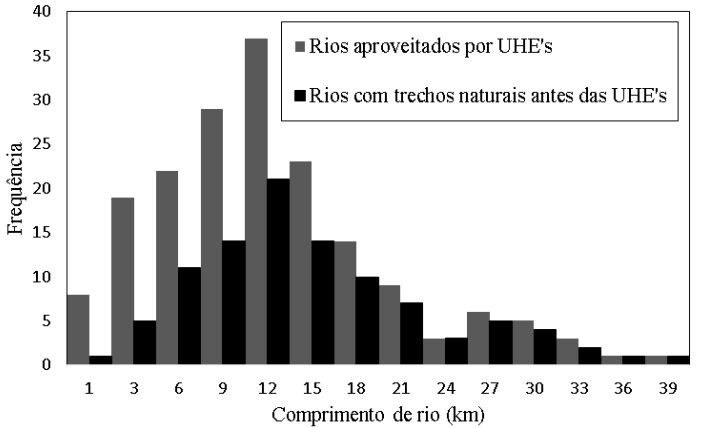


Figura 22 - Comparativo entre comprimento de trechos naturais de rios e depois segmentados PCH's



## 5.2. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

Os parâmetros morfométricos são apresentados nos mapas a seguir, as tabelas com os dados médios por região hidrográfica constam no Apêndice A.

Os resultados de coeficiente de compacidade, que relaciona a área da bacia com a área de um círculo do mesmo perímetro indicam que a maior parcela das sub-bacias (Figura 23) possuem valores até 0,6.

Visualizando o mapa da largura média da bacia (Figura 24), que relaciona a área da bacia com o comprimento do rio principal, percebe-se que para as maiores sub-bacias de UHE's os valores de foram acima de 20 quilômetros. Para as UHE's com sub-bacias menores os valores de largura são bem menores, sendo que a média para é de 13 km. Para as PCH's, os valores variam bastante e são, em média, menores (9 km).

Os valores de densidade de drenagem para as sub-bacias (Figura 25) foram praticamente todos baixos, com valores até 0,6 km/km<sup>2</sup>.

Os resultados do fator de forma (Figura 26) indicaram que para as sub-bacias maiores os valores são até 0,6. Para sub-bacias menores os valores são mais altos, com médias de aproximadamente 4 nas regiões hidrográficas dos rios Itajaí e Peperi-Guaçu/Antas.

O índice de circularidade das bacias (Figura 26) teve maior incidência de valores na faixa de ficou entre 0,2 e 0,3.



Figura 23 - Figura coeficiente de compacidade das sub-bacias

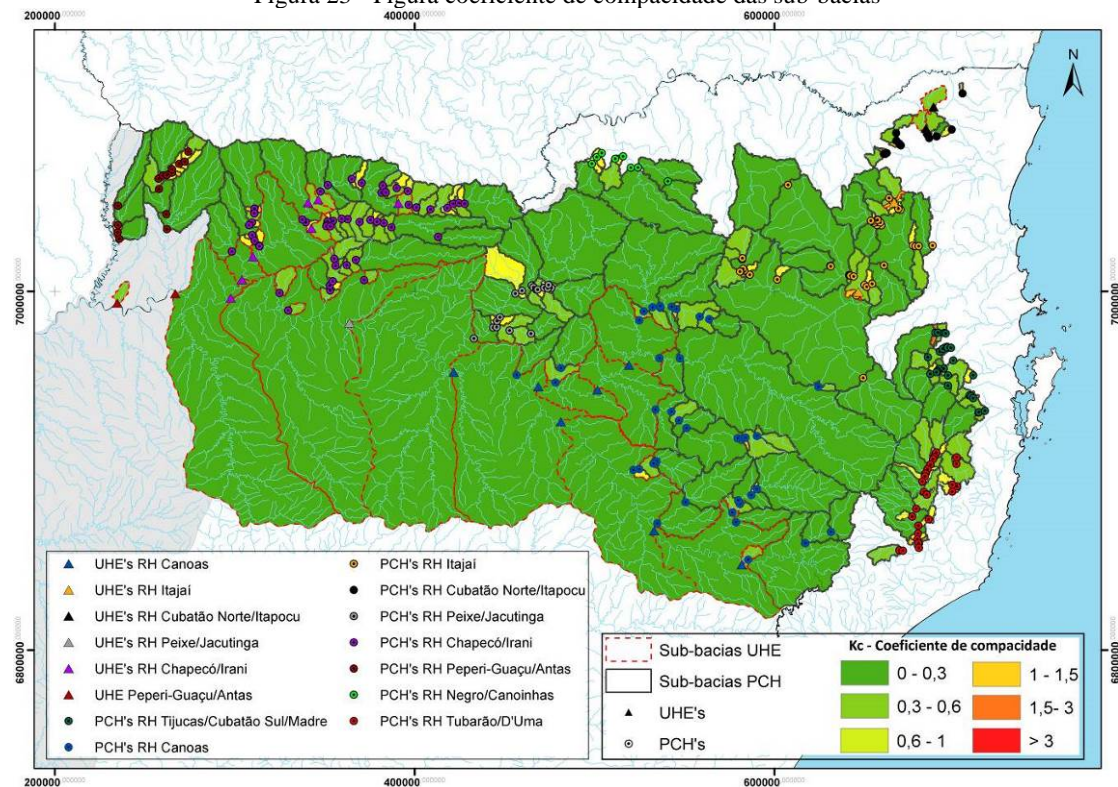


Figura 24 - Figura largura média das sub-bacias

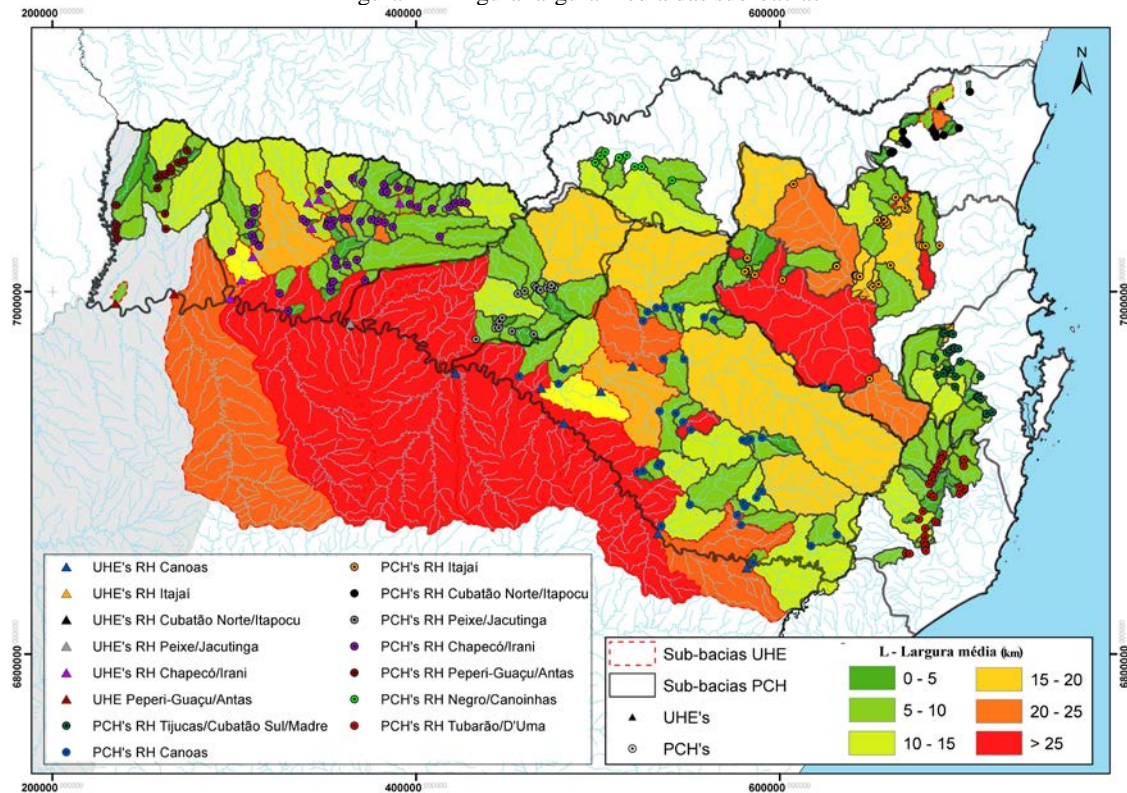


Figura 25 - Figura densidade de drenagem das sub-bacias

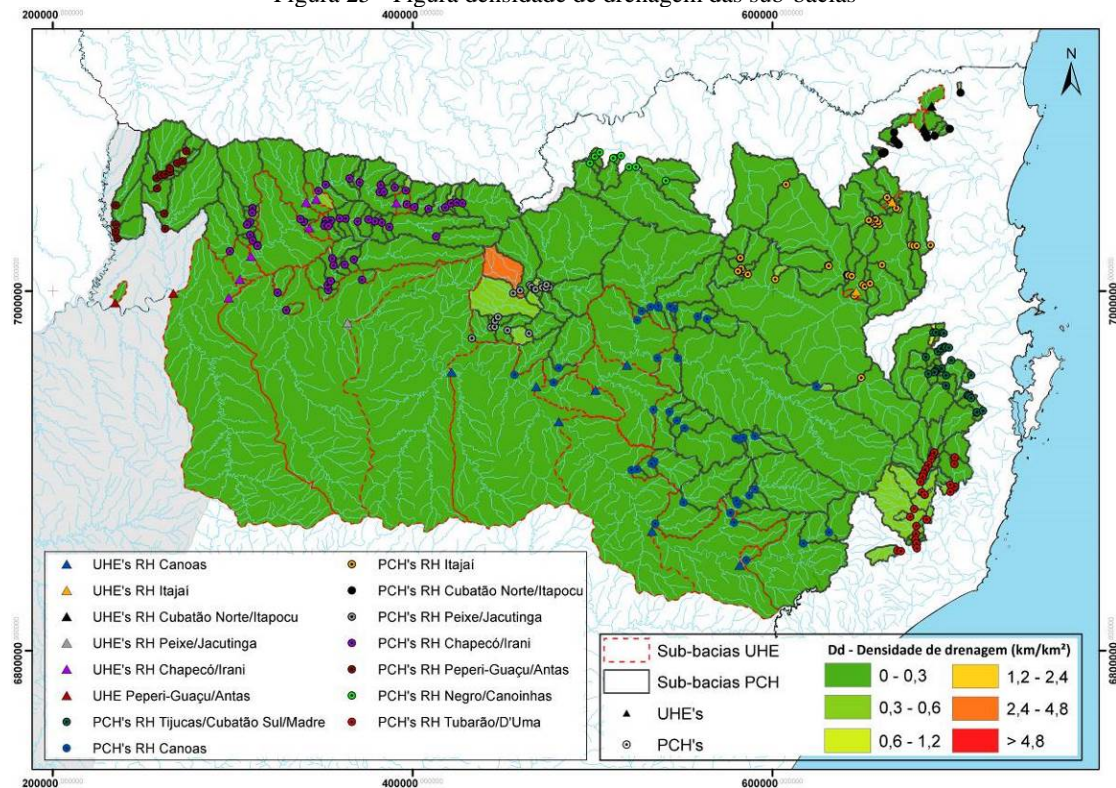




Figura 26 - Figura fator de forma das sub-bacias

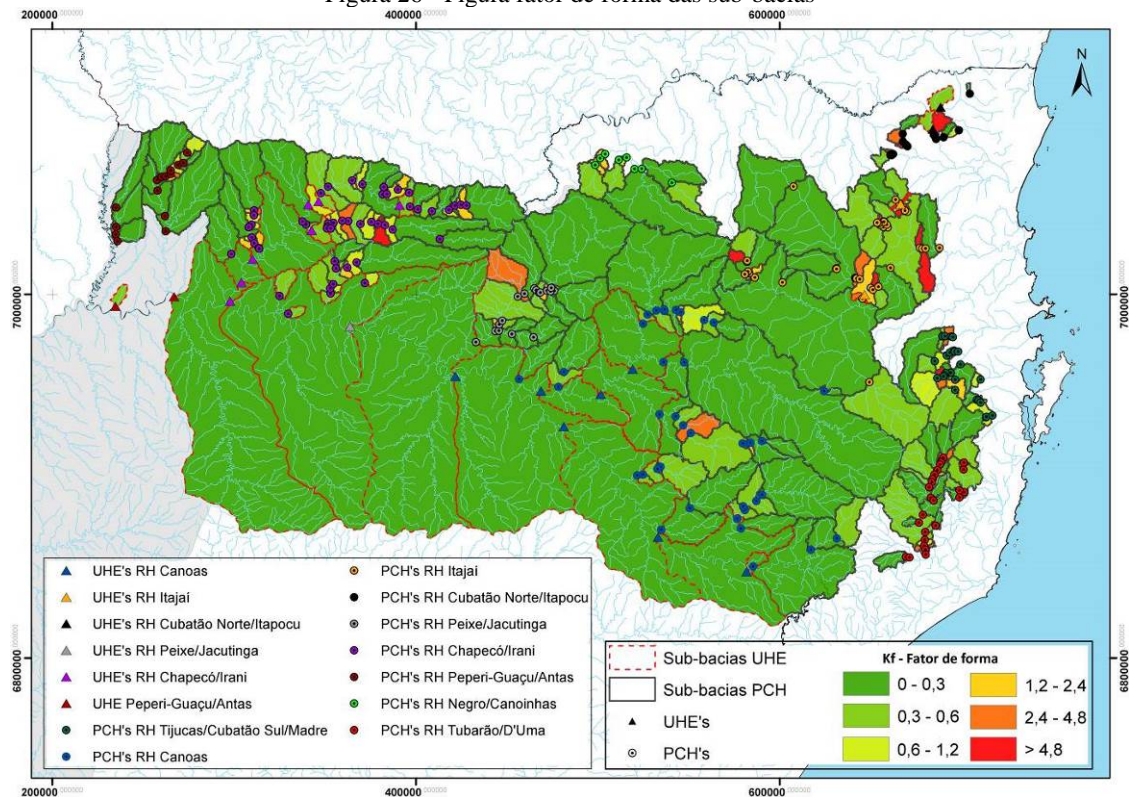
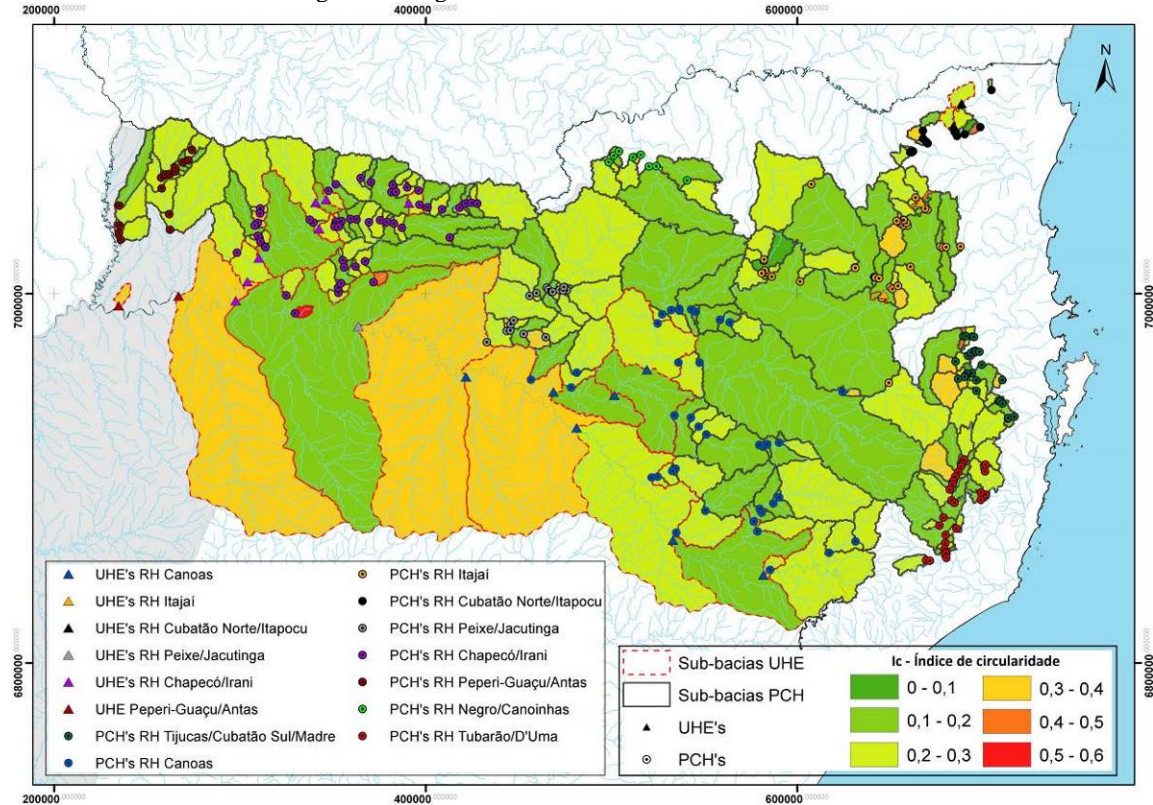


Figura 27 - Figura índice de circularidade das sub-bacias



### 5.3. ÍNDICES DE VULNERABILIDADE E IMPACTOS

A matriz de impacto foi aplicada aos empreendimentos e os resultados estão apresentados nas tabelas abaixo para PCH's (Tabela 3) e UHE's (Tabela 4). As tabelas divididas por regiões hidrográficas estão no Apêndice A, ao final deste trabalho.

As tabelas mostram que nenhum empreendimento foi enquadrado como alto impacto ambiental. Analisando as PCH's percebe-se que mais que 73 % têm médio impacto, já as UHE's 53% são médios e 47% de baixos impactos.

Percebe-se que como as PCH's tem pequenos reservatórios, o critério área alagada teve a grande maioria classificado como baixo impacto. O critério que mais contribuiu para aumentar a magnitude do impacto das PCH's foi a distância entre barramentos, onde 128 PCH's foram enquadradas como alto impacto por terem distâncias menores que 10 km entre barramentos. Este critério tem forte relação com a implantação de PCH's em sequência e interfere diretamente no ecossistema da região, alterando a dinâmica natural dos rios.

Embora praticamente todas as PCH's serem enquadradas como médio impacto no critério potência instalada, a produtividade teve 73% de impactos classificados como baixo. Isto se deve ao fato de que por terem reservatórios pequenos, as PCH's apresentam uma boa relação potência sobre área de reservatório.

Uma porção de 67 PCH's representando 29% do total estão a até 5 km de distância de cidades, sendo que aproximadamente metade estão a até 2,5 km. Em relação a proximidade a unidades de conservação, 10% das PCH's estão até 2,5 km de distância apenas, sendo consideradas como alto impacto ambiental neste critério.

Tabela 3 - Matriz de impactos PCH's totais

<b>Critérios Ambientais</b>	<b>(1) Baixo Impacto Ambiental</b>	<b>(2) Médio Impacto Ambiental</b>	<b>(3) Alto Impacto Ambiental</b>
<b>Área alagada</b>	224	13	1
<b>Potência instalada</b>	-	234	2
<b>Produtividade</b>	171	46	24
<b>Distância entre barramentos</b>	57	51	128
<b>Distância de sedes urbanas</b>	171	36	31
<b>Distância de Unidades de Conservação</b>	217	-	21
<b>Total de empreendimentos</b>	64	172	-

Como as UHE's tem potências altas, 20 delas foram classificadas como baixo impacto neste critério.

O critério ambiental das 21 UHE's classificado como médio em 12 empreendimentos foi o da área alagada, pelo fato de algumas UHE's possuírem grandes reservatórios. A produtividade das UHE's não teve a mesma proporção de magnitude de baixos impactos se comparado com as PCH's, 58% nas UHE's contra 73% das PCH's. Este fato pode ser explicado devido aos grandes reservatórios, que mesmo com as grandes potências que as UHE's geram, inundam grandes áreas.

Tabela 4 - Matriz de impactos UHE's totais

<b>Crítérios Ambientais</b>	<b>(1) Baixo Impacto Ambiental</b>	<b>(2) Médio Impacto Ambiental</b>	<b>(3) Alto Impacto Ambiental</b>
<b>Área alagada</b>	3	6	12
<b>Potência instalada</b>	20	1	-
<b>Produtividade</b>	12	6	3
<b>Distância entre barramentos</b>	14	1	6
<b>Distância de sedes urbanas</b>	14	7	-
<b>Distância de Unidades de Conservação</b>	20	-	1
<b>Total de empreendimentos</b>	10	11	-

As regiões hidrográficas com melhor índice de produtividade foram a dos rios Itajaí e Canoas.

Para auxiliar na visualização dos impactos divididos por bacias, foram gerados dois mapas com os resultados da matriz de impacto, um para as PCH's (Figura 27) e um para as UHE's (Figura 28).

Enquanto a região hidrográfica do Canoas foi a região com a maior proporção de número de PCH's classificados como de baixos impactos, 21 das 38 PCH's, a região que teve mais empreendimentos classificados como médio impacto foi a região do rio Itajaí, com 31 dos 36.

Embora para PCH's a região Chapecó/Irani ter 45 dos 57 empreendimentos enquadrados como médio impacto, para UHE's a região teve 6 das 7 classificadas como baixo impacto, o que levou a ser a região onde as UHE's têm o menor impacto. Já as regiões que tiveram os maiores impactos proporcionalmente em UHE's foram Cubatão Norte/Itapocu e Peperi-Guaçu/Antas, onde os 2 empreendimentos de cada região foram enquadrados como de médio impacto. Em números absolutos a região de maior número de UHE's com médio impacto é a região hidrográfica do rio Canoas, onde 4 das 7 são de médio impacto.



Além dos resultados da matriz, vale a pena salientar que Santa Catarina possui 16 Comitês de Bacia Hidrográfica, que abrangem todas as regiões hidrográficas do estado. Destes, apenas 6 deles possuem Planos de Bacias. O Plano de Bacia é um instrumento da legislação que visa o planejamento dinâmico e a gestão integrada da bacia, de forma a garantir a conservação dos recursos hídricos e seu uso sob a ótica do desenvolvimento sustentável. Desta forma, os comitês devem elaborar seus planos para dar mais efetividade em suas atuações.

Figura 28 - Figura da matriz de impactos ambientais para PCH's

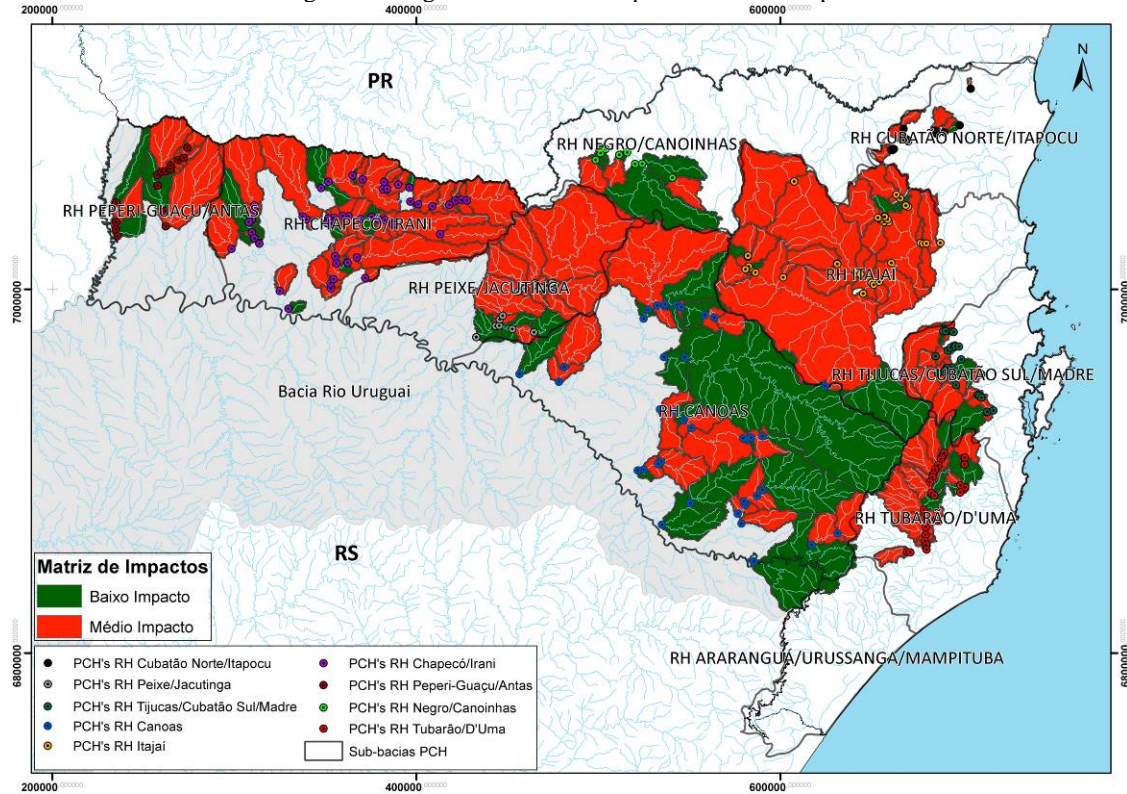
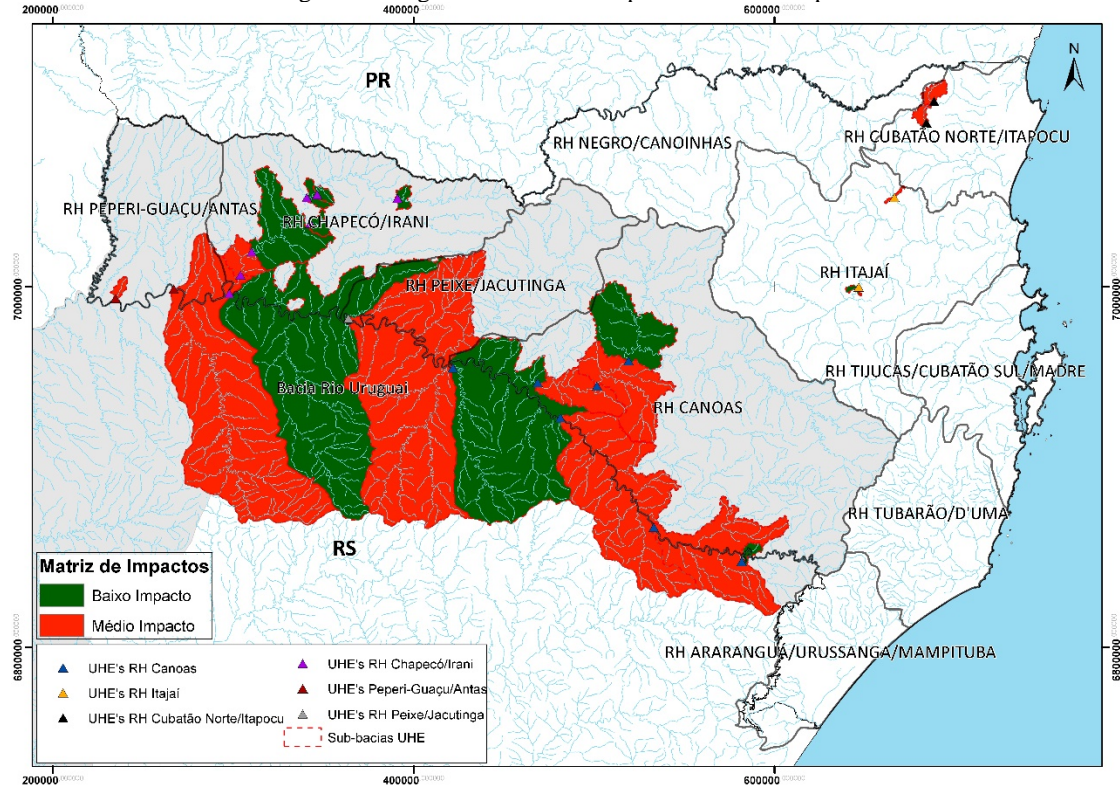


Figura 29 - Figura da matriz de impactos ambientais para UHE's



## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados apontaram que 73% das PCH's do estado são classificadas como médios impactos, enquanto as UHE's, 53% tiveram a mesma classificação.

Além da área e volume do reservatório, um dos critérios mais impactantes ao meio ambiente é a distância entre os barramentos. Analisando a pergunta que originou este trabalho na dimensão da matriz de impactos construída, pode-se afirmar que uma sequência de PCH's causam maiores impactos se comparados a uma única UHE. Pois não somente a distância entre os barramentos influencia nessa afirmativa, e sim o fato de que as 257 PCH's do estado tem potência instalada cerca de 7 vezes menor do que as 21 UHE's.

Apesar de PCH's serem empreendimentos de portes menores comparados a UHE's, devem ser tratados do ponto de vista ambiental como empreendimentos de significativos impactos, e que estes impactos por vezes são de mesma ou até maior magnitude que algumas UHE's. Portanto, para o licenciamento dos os projetos deveriam ser solicitados Estudos de Impactos Ambientais acompanhados de Relatório de Impacto Ambiental e ser requerida Avaliação Integrada de Impactos prevendo a influência de empreendimentos já implantados e outros em fases de projetos.

Não foram encontradas relações entre os parâmetros morfométricos das bacias e os aproveitamentos hidrelétricos, apontando que estas características não são levadas em conta nos projetos.

Como recomendações para aprimorar a matriz de impactos pode-se incluir: a avaliação de comprimento de rios perdidos por inundação e/ou desvio de rio, alteração da vazão nos canais desviados; a avaliação dos impactos nos meios socioeconômico e bióticos; a presença de comitês estruturados que tenham ações efetivas nas decisões sobre o uso os recursos hídricos.

O destino da energia e a demanda de energia são outros fatores que podem ser levados em consideração nos estudos.

Souza (2011) e Perezolli (2011), em suas matrizes de impactos, incluíram critérios como qualidade da água antes e depois do barramento, usos múltiplos da água, áreas de interesse turístico, alteração das vazões naturais. Bakker et al. (2011), avaliou o consumo de água utilizada para gerar hidroeletricidade, fazendo uma revisão dos estudos existentes.

Sugere-se a definição de escalas de comparativos, cada nível contendo o seu teor de detalhamento de dados e informações e o seu propósito de aplicação, permitindo uma avaliação integrada dos empreendimentos.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Estabelece os critérios para o enquadramento de aproveitamento hidrelétrico na condição de Pequena Central Elétrica (PCH)**. Resolução nº 652, de 09 de dezembro de 2003. ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil 3. Ed.** Brasília: ANEEL, 2008. 236p.
- BAKKEN, T. H. et al. Water consumption from hydropower plants—review of published estimates and an assessment of the concept. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 17, n. 10, p. 3983-4000, 2013.
- BRASIL. Decreto n. 5.025, 30 de março de 2004. **PROINFA – Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Energia Elétrica**.
- CERPCH, **Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Elétricas**.
- EPAGRI/CIRAM, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina**. Disponível em: < <http://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca/> >
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 01/86. **Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental**. Brasília, 1986.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 06/87. **Dispõe sobre o licenciamento ambiental de obras do setor de geração de energia elétrica**. Brasília, 1987.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 237/97. **Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental**. Brasília, 1997.
- HELLWEGER, Ferdi; MAIDMENT, D. AGREE-DEM surface reconditioning system. **University of Texas**, 1997. 27p.
- IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/> >
- KIBLER, Kelly M.; TULLOS, Desiree D. Cumulative biophysical impact of small and large hydropower development in Nu River, China. **Water Resources Research**, v. 49, n. 6, p. 3104-3118, 2011.
- LEÃO, Larissa Lara. **Considerações sobre impactos socioambientais de pequenas centrais hidrelétricas (PCHS): modelagem e análise**. Dissertação. Mestrado em Desenvolvimento Sustentável. Brasília: Centro de Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília. 2008.
- Lei 9.433. **Política nacional de recursos hídricos**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1997.
- Lei 10.949. **Dispõe sobre a caracterização do Estado em 10 (dez) Regiões Hidrográficas**. Florianópolis: Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável, 1998.
- MME, **Ministério de Minas e Energia**.

- NASCIMENTO, Elimar Pinheiro do; DRUMMOND, José Augusto. Invenção e realidade da região de Belo Monte. NASCIMENTO, Elimar Pinheiro do; DRUMMOND, José Augusto (org.). **Amazônia – Dinamismo econômico e conservação ambiental**. Rio de Janeiro: Garamond, p. 35-57, 2003.
- PERAZZOLI, Maurício; DA VEIGA COUTINHO, Solange; DA SILVA, Júlio César Moschetta. Sugestão de critérios ambientais para avaliação de impacto ambiental de pequenas centrais hidrelétricas na bacia hidrográfica do rio do Peixe–SC. **Revista PCH Notícias & SHP NEWS**, n. 46, p.27-30. 2011. Disponível em: < [http://www.cerpch.unifei.edu.br/resumo\\_art.php?id=193](http://www.cerpch.unifei.edu.br/resumo_art.php?id=193) >
- RIBEIRO, Morel Queiroz da Costa. **O Licenciamento Ambiental de Aproveitamentos Hidroelétricos**: o espaço da adequação. Dissertação. Mestrado em Geografia. Belo Horizonte: Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais, 268p, 2008.
- SIPOT. **Sistema de Informação do Potencial Hidrelétrico Brasileiro**. Brasília. Disponível em: < <http://www.eletrobras.com/elb/data/Pages/LUMIS21D128D3PTBRIE.htm> >
- SIGEL. **Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico**. Brasília. Disponível em: < <http://sigel.aneel.gov.br/sigel.html> >
- SOUZA, Cléo Frossard de Assis; OLIVEIRA, Lília Maria de; FIGUEIREDO, Carlos Henrique de; SOUZA, Jorge Batista de. Avaliação de impactos ambientais em hidrelétricas: Análise de diferentes concepções de aproveitamentos na bacia do Rio Doce. **PCH Notícias e SHP NEWS**, n. 50, p. 36-41. 2011. Disponível em: < [http://www.cerpch.unifei.edu.br/exibir\\_rev.php?id=50](http://www.cerpch.unifei.edu.br/exibir_rev.php?id=50) >
- TIAGO FILHO, Geraldo Lúcio. et al. Um panorama das Pequenas Centrais Elétricas no Brasil. Comitê Brasileiro de Barragens. **V Simpósio de Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas**. Florianópolis. 2006.
- TROCH, Peter A.; PANICONI, Claudio; MCLAUGHLIN, Dennis. Catchment-scale hydrological modeling and data assimilation. **Advances in Water Resources**, v. 26, n. 2, p. 131-135, 2003.
- TULLOS, Desiree D. et al. Biophysical, Socioeconomic, and Geopolitical Vulnerabilities to Hydropower Development on the Nu River, China. **Ecology and Society**, v. 18, n. 3, p. 16, 2013

## APÊNDICE A



Tabela 5 - Parâmetros Morfométricos de bacias aproveitadas por PCH's (a) e UHE's (b) divididos por região hidrográfica  
(a)

Nome	Empreendimentos por RH	Kc médio	l médio	Dd médio	Kf médio	Ic médio
<b>Canoas</b>	38	4,20	6,08	0,48	2,05	0,24
<b>Chapecó/Irani</b>	57	1,80	13,19	0,31	2,44	0,26
<b>Cubatão Norte/Itapocu</b>	12	0,74	6,80	0,29	1,33	0,26
<b>Itajaí</b>	36	2,09	9,02	0,53	4,10	0,27
<b>Negro/Canoinhas</b>	8	0,67	5,84	0,22	1,39	0,26
<b>Peixe/Jacutinga</b>	18	6,05	8,77	1,24	1,11	0,27
<b>Peperi-Guaçu/Antas</b>	15	3,36	8,29	0,35	3,97	0,22
<b>Tijucas/Cubatão Sul/Madre</b>	25	3,97	11,93	0,73	1,86	0,26
<b>Tubarão/D'Uma</b>	26	2,37	7,71	0,26	0,81	0,22

(b)

Nome	Empreendimentos por RH	Kc médio	l médio	Dd médio	Kf médio	Ic médio
<b>Canoas</b>	7	0,16	16,48	0,21	0,16	0,21
<b>Chapecó/Irani</b>	7	0,31	11,08	0,21	0,35	0,23
<b>Cubatão Norte/Itapocu</b>	2	0,21	15,45	0,19	0,21	0,28
<b>Itajaí</b>	2	1,08	16,30	0,08	3,04	0,18
<b>Peixe/Jacutinga</b>	1	0,45	4,34	0,23	0,31	0,33
<b>Peperi-Guaçu/Antas</b>	2	0,28	12,76	0,20	0,28	0,27

Legenda: Kc é o Coeficiente de compacidade; l é a Largura média da bacia; Dd é Densidade de drenagem; Kf é o Fator de forma; Ic representa o Índice de circularidade

Tabela 6 - Matriz de impactos PCH's na região hidrográfica Peperi-Guaçu/Antas

<b>Critérios Ambientais</b>	<b>(1) Baixo Impacto Ambiental</b>	<b>(2) Médio Impacto Ambiental</b>	<b>(3) Alto Impacto Ambiental</b>
<b>Área alagada</b>	13	2	-
<b>Potência instalada</b>	-	15	-
<b>Produtividade</b>	10	3	2
<b>Distância entre barramentos</b>	3	3	8
<b>Distância de sedes urbanas</b>	9	7	-
<b>Distância de Unidades de Conservação</b>	15	-	-
<b>Total de empreendimentos</b>	6	9	-

Tabela 7 - Matriz impacto PCH's na região hidrográfica Chapecó/Irani

<b>Critérios Ambientais</b>	<b>(1) Baixo Impacto Ambiental</b>	<b>(2) Médio Impacto Ambiental</b>	<b>(3) Alto Impacto Ambiental</b>
<b>Área alagada</b>	53	4	-
<b>Potência instalada</b>	-	56	1
<b>Produtividade</b>	33	15	9
<b>Distância entre barramentos</b>	13	14	30
<b>Distância de sedes urbanas</b>	40	9	8
<b>Distância de Unidades de Conservação</b>	54	-	3
<b>Total de empreendimentos</b>	12	45	-

Tabela 8 - Matriz de impactos PCH's na região hidrográfica Peixe/Jacutinga

<b>Critérios Ambientais</b>	<b>(1) Baixo Impacto Ambiental</b>	<b>(2) Médio Impacto Ambiental</b>	<b>(3) Alto Impacto Ambiental</b>
<b>Área alagada</b>	18	1	-
<b>Potência instalada</b>	-	19	-
<b>Produtividade</b>	13	6	-
<b>Distância entre barramentos</b>	2	7	10
<b>Distância de sedes urbanas</b>	9	5	5
<b>Distância de Unidades de Conservação</b>	18	-	1
<b>Total de empreendimentos</b>	3	16	-

Tabela 9 - Matriz de impactos PCH's na região hidrográfica Negro/Canoinhas

<b>Critérios Ambientais</b>	<b>(1) Baixo Impacto Ambiental</b>	<b>(2) Médio Impacto Ambiental</b>	<b>(3) Alto Impacto Ambiental</b>
<b>Área alagada</b>	8	-	-
<b>Potência instalada</b>	-	8	-
<b>Produtividade</b>	-	6	2
<b>Distância entre barramentos</b>	5	-	3
<b>Distância de sedes urbanas</b>	7	-	1
<b>Distância de Unidades de Conservação</b>	8	-	-
<b>Total de empreendimentos</b>	5	3	-

Tabela 10 - Matriz de impactos PCH's na região hidrográfica Canoas

<b>Critérios Ambientais</b>	<b>(1) Baixo Impacto Ambiental</b>	<b>(2) Médio Impacto Ambiental</b>	<b>(3) Alto Impacto Ambiental</b>
<b>Área alagada</b>	37	1	-
<b>Potência instalada</b>	-	37	1
<b>Produtividade</b>	26	9	3
<b>Distância entre barramentos</b>	13	14	11
<b>Distância de sedes urbanas</b>	36	2	-
<b>Distância de Unidades de Conservação</b>	35	-	3
<b>Total de empreendimentos</b>	21	17	-

Tabela 11- Matriz de impactos PCH's na região hidrográfica Itajaí

<b>Critérios Ambientais</b>	<b>(1) Baixo Impacto Ambiental</b>	<b>(2) Médio Impacto Ambiental</b>	<b>(3) Alto Impacto Ambiental</b>
<b>Área alagada</b>	35	1	-
<b>Potência instalada</b>	-	36	-
<b>Produtividade</b>	31	2	3
<b>Distância entre barramentos</b>	9	3	24
<b>Distância de sedes urbanas</b>	22	6	8
<b>Distância de Unidades de Conservação</b>	35	-	1
<b>Total de empreendimentos</b>	5	31	-

Tabela 12 - Matriz de impactos PCH's na região hidrográfica Cubatão Norte/Itapocu

<b>Critérios Ambientais</b>	<b>(1) Baixo Impacto Ambiental</b>	<b>(2) Médio Impacto Ambiental</b>	<b>(3) Alto Impacto Ambiental</b>
<b>Área alagada</b>	12	-	-
<b>Potência instalada</b>	-	12	-
<b>Produtividade</b>	10	2	-
<b>Distância entre barramentos</b>	6	-	6
<b>Distância de sedes urbanas</b>	12	-	-
<b>Distância de Unidades de Conservação</b>	7	-	5
<b>Total de empreendimentos</b>	3	9	-

Tabela 13 - Matriz de impactos PCH's na região hidrográficaTijucas/Cubatão Sul/Madre

<b>Critérios Ambientais</b>	<b>(1) Baixo Impacto Ambiental</b>	<b>(2) Médio Impacto Ambiental</b>	<b>(3) Alto Impacto Ambiental</b>
<b>Área alagada</b>	22	2	1
<b>Potência instalada</b>	-	25	0
<b>Produtividade</b>	19	1	5
<b>Distância entre barramentos</b>	4	3	18
<b>Distância de sedes urbanas</b>	21	1	3
<b>Distância de Unidades de Conservação</b>	19	0	6
<b>Total de empreendimentos</b>	4	21	-

Tabela 14 - Matriz de impactos PCH's na região hidrográfica Tubarão/D'Uma

<b>Critérios Ambientais</b>	<b>(1) Baixo Impacto Ambiental</b>	<b>(2) Médio Impacto Ambiental</b>	<b>(3) Alto Impacto Ambiental</b>
<b>Área alagada</b>	26	-	-
<b>Potência instalada</b>	-	26	-
<b>Produtividade</b>	23	3	-
<b>Distância entre barramentos</b>	2	7	17
<b>Distância de sedes urbanas</b>	16	5	5
<b>Distância de Unidades de Conservação</b>	26	-	-
<b>Total de empreendimentos</b>	5	21	-

Tabela 15 - Matriz de impactos UHE's na região hidrográfica Peperi-Guaçu/Antas

<b>Critérios Ambientais</b>	<b>(1) Baixo Impacto Ambiental</b>	<b>(2) Médio Impacto Ambiental</b>	<b>(3) Alto Impacto Ambiental</b>
<b>Área alagada</b>	-	-	2
<b>Potência instalada</b>	2	-	-
<b>Produtividade</b>	-	-	2
<b>Distância entre barramentos</b>	1	-	1
<b>Distância de sedes urbanas</b>	1	1	-
<b>Distância de Unidades de Conservação</b>	2	-	-
<b>Total de empreendimentos</b>	-	2	-

Tabela 16 - Matriz de impactos UHE's na região hidrográfica Chapecó/Irani

<b>Critérios Ambientais</b>	<b>(1) Baixo Impacto Ambiental</b>	<b>(2) Médio Impacto Ambiental</b>	<b>(3) Alto Impacto Ambiental</b>
<b>Área alagada</b>	2	3	2
<b>Potência instalada</b>	6	1	-
<b>Produtividade</b>	6	-	1
<b>Distância entre barramentos</b>	3	2	2
<b>Distância de sedes urbanas</b>	5	2	-
<b>Distância de Unidades de Conservação</b>	7	-	-
<b>Total de empreendimentos</b>	6	1	-

Tabela 17 - Matriz de impactos UHE's na região hidrográfica Peixe/Jacutinga

<b>Critérios Ambientais</b>	<b>(1) Baixo Impacto Ambiental</b>	<b>(2) Médio Impacto Ambiental</b>	<b>(3) Alto Impacto Ambiental</b>
<b>Área alagada</b>	-	-	1
<b>Potência instalada</b>	1	-	-
<b>Produtividade</b>	1	-	-
<b>Distância entre barramentos</b>	1	-	-
<b>Distância de sedes urbanas</b>	-	1	-
<b>Distância de Unidades de Conservação</b>	1	-	-
<b>Total de empreendimentos</b>	-	1	-

Tabela 18 - Matriz de impactos UHE's na região hidrográfica Canoas

<b>Critérios Ambientais</b>	<b>(1) Baixo Impacto Ambiental</b>	<b>(2) Médio Impacto Ambiental</b>	<b>(3) Alto Impacto Ambiental</b>
<b>Área alagada</b>	-	1	6
<b>Potência instalada</b>	7	1	7
<b>Produtividade</b>	3	4	-
<b>Distância entre barramentos</b>	7	-	-
<b>Distância de sedes urbanas</b>	5	2	-
<b>Distância de Unidades de Conservação</b>	-	7	-
<b>Total de empreendimentos</b>	3	4	-

Tabela 19- Matriz de impactos UHE's na região hidrográfica Itajaí

<b>Critérios Ambientais</b>	<b>(1) Baixo Impacto Ambiental</b>	<b>(2) Médio Impacto Ambiental</b>	<b>(3) Alto Impacto Ambiental</b>
<b>Área alagada</b>	1	1	-
<b>Potência instalada</b>	2	-	-
<b>Produtividade</b>	2	-	-
<b>Distância entre barramentos</b>	-	-	2
<b>Distância de sedes urbanas</b>	2	-	-
<b>Distância de Unidades de Conservação</b>	2	-	-
<b>Total de empreendimentos</b>	1	1	-



Tabela 20 - Matriz de impactos UHE's na região hidrográfica Cubatão  
Norte/Itapocu

<b>Crítérios Ambientais</b>	<b>(1) Baixo Impacto Ambiental</b>	<b>(2) Médio Impacto Ambiental</b>	<b>(3) Alto Impacto Ambiental</b>
<b>Área alagada</b>	-	1	1
<b>Potência instalada</b>	2	-	-
<b>Produtividade</b>	-	2	-
<b>Distância entre barramentos</b>	2	-	-
<b>Distância de sedes urbanas</b>	1	1	-
<b>Distância de Unidades de Conservação</b>	1	-	1
<b>Total de empreendimentos</b>	-	2	-